新编电工电气线路丛书



电动机电气线路365例

金续曾　主编

中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS
www.cepp.com.cn

新编电工电气线路 丛书

怎样看电气线路图

实用电工电气线路365例

电动机电气线路365例



金续曾(1942–)

知名电机修理专家，具有30余年的电机修理经验，善长处理各种电机故障疑难杂症，同时也是畅销书作家，多年笔耕不辍将自己的宝贵经验总结传播，著有电机修理方面的图书数十种，其中《电动机绕组接线图册》曾获优秀畅销书奖，参与编写的《电动机绕组修理》累计发行60余万册。


ISBN 978-7-5083-7300-3

9 787508 373003 >

定价： 24.00 元

销售分类建议：电工技术

新编电工电气线路丛书

电动机电气线路365例

金续曾　主编

中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书主要内容包括：单、三相异步电动机，同步电动机，交流调速电动机，直流电动机等各种电气控制线路；以及电动机的检测与试验线路。每例电气线路均附有简要文字说明，以方便读图。附录中还收录了新国标的图形符号与文字符号，以方便查阅。

本书可供工矿企业、乡镇企业广大电气安装、维修电工和专业技术人员阅读，也可供大中专院校师生作教学参考。

图书在版编目（CIP）数据

电动机电气线路365例/金续曾主编. —北京：中国电力出版社，2009
（新编电工电气线路丛书）
ISBN 978-7-5083-7300-3

Ⅰ. 电… Ⅱ. 金… Ⅲ. 电动机-电路图 Ⅳ. TM32

中国版本图书馆CIP数据核字（2008）第064122号

中国电力出版社出版、发行
（北京三里河路6号 100044 http://www.cepp.com.cn）
汇鑫印务有限公司印刷
各地新华书店经售
*
2009年1月第一版 2009年1月北京第一次印刷
850毫米×1168毫米 32开本 8.5印张 237千字
印数0001—3000册 定价 **24.00** 元

前　言

PREFACE

《新编电工电气线路丛书》是为了普及电工知识，帮助工矿企业、农村乡镇的广大电工人员，特别是初级电工人员学习电工基础，提高电气操作技能水平的普及类电工技术丛书。

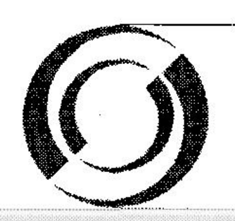
《电动机电气线路365例》是丛书之一，它从生产实际出发，精心选编、绘制了工农业生产和日常生活中，常用单、三相异步电动机，同步电动机，交流调速电动机，直流电动机等各种电气控制线路。内容包括：常用控制电器的型号、性能及用途；新国标的图形符号、文字符号；各种交、直流电动机的手动和自动控制下的全压起动控制、降压起动控制、可逆运行控制；断续、连续、停止、制动、调速控制；位置、顺序、多地控制及继电保护等的实用线路，每例电气控制线路均附有简要文字说明以方便读图。只要持之以恒坚持一日一例地学习与运用，就能全面熟悉各类电气控制线路。

本书由金续曾同志主编，并由彭友珍、金旻、何文辉、龚敏、林志诚、皮爱珍、何利红、周武、邓花云、王佩琦等同志参与完成。由于作者水平有限，书中难免有错误和疏漏之处，敬请读者批评指正。

作　者

目　录

CONTENTS



第1章 概 述

Chapter 1

电动机是现代国民经济中使用最为普遍的一种能量转换机械，它在电能的生产、输送和应用等各方面均起极其重要的作用。如工业生产中，在机械制造、矿山、冶金、石油、化工等所有工业门类的生产机械，都广泛采用各种电动机进行驱动。在交通运输中，铁道机车和城市电车都是由电动机拖动的。在农业生产方面，电力排灌设备、榨油设备等许多农业机械也是由电动机带动的。在科研、文教、医疗、乡镇企业及日常生活中，同样广泛应用着大小不一的各类电动机。

为确保电动机具有安全、高效、准确、良好的工作状况，以及灵便可靠的操作方式，就需要对电动机进行必要的控制和保护。一般以手动或自动的控制方式，对电动机作断续、连续运行；单向、可逆运行；起动、停止、制动、调速、保护，以及位置、顺序、多地控制等，用以适应各种生产机械、生产工艺对电动机不同的拖动要求。例如：对轧钢、造纸、纺织、印染、印刷、起重机械，以及车床、钻床、磨床、铣床、刨床等设备的电气控制。

电动机的电气控制不论其线路简单还是复杂，它们均由各种开关、熔断器、电阻、电抗、接触器、继电器等控制电器，按设计要求和规律规则组成控制线路和电气系统，用以控制电动机的起动、反转、制动、调速等各种运行状态，安全、准确地去拖动各种不同的生产机械。

电气控制线路纷繁复杂、变化万千。但不论多复杂的电气控制线路，都是由一些基本电气控制线路所组成。为尽快熟悉和运用对电动机的电气控制线路，下面将简要介绍电动机几种常用基

本电气控制线路。

一、三相笼型异步电动机全压起动控制线路

三相笼型异步电动机因具有结构简单、维修方便、价格便宜、坚固耐用等许多优点，而得到广泛应用。

一般在供电容量允许的情况下，三相笼型异步电动机均应尽可能采用全电压直接起动，这样可以提高控制线路的可靠性和减少起动设备价格等。

（一）点动控制线路

这种控制线路常用于起重电动葫芦和车床拖板的快速短暂移动中，图 1-1 所示即为点动控制线路。该线路由隔离开关 QS、熔断器 FU1 和交流接触器 KM 组成，熔断器 FU2、按钮 SB 及接触器 KM 线圈构成控制线路。电动机工作时，首先接通开关 QS，按下按钮 SB，这时接触器 KM 的线圈得电动作，KM 的主触头闭合，电动机 M 通电运转。停止时则松开按钮 SB，接触器 KM 线圈断电，KM 的主触头断开，电动机 M 则因断电而停止运行。

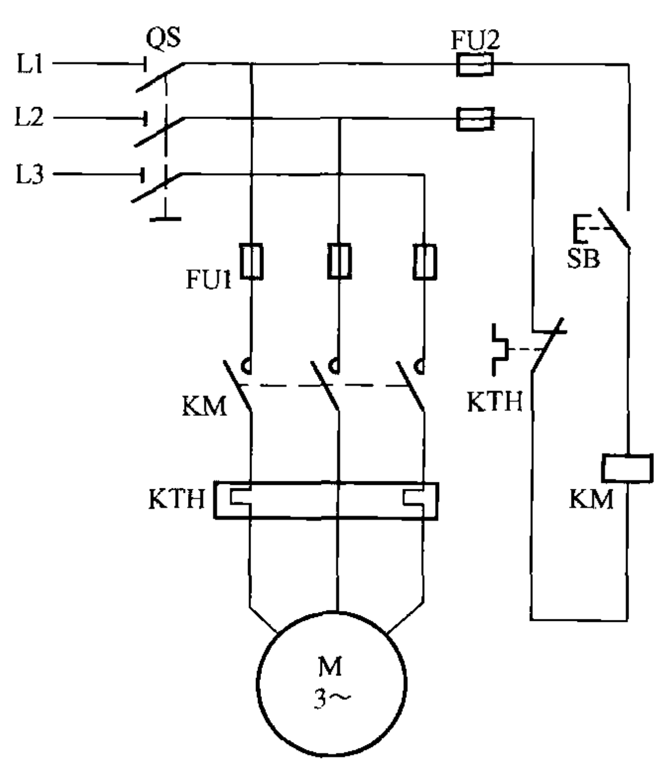


图 1-1　电动机点动控制线路

（二）单向运行控制线路

三相笼型异步电动机单向运行控制线路是一种最常用、最简单的控制线路，图 1-2 所示即为其控制线路。从图中可以看出，它的主电路由隔离开关 QS、熔断器 FU1、接触器 KM、热继电器 KTH 和电动机 M 构成，控制电路则由起动、停止按钮 SB1、SB2，接触器 KM 线圈及常开辅助触头，热继电器 KTH 的常闭触头和熔断器组成。该控制线路工作时，先接通隔离开关 QS，按下起动按钮 SB2，KM 线圈通电动作使 KM 的动合触头闭合并自锁，与此同时 KM 主触头闭合，电动机则通电运转。停止时，按下停止按钮 SB1，KM 线圈断电，KM 的动合触头断开，自锁解除，与此同时 KM 的主触头断开，电动机即因断电而停止了运行。该控制线路还具有三重保护环节：①熔断器 FU1 的短路保护；②热继电器 KTH 具有的过载保护；③接触器 KM 电磁机构具有的欠压与失压保护。从而较全面地保护了电动机的可靠运行。

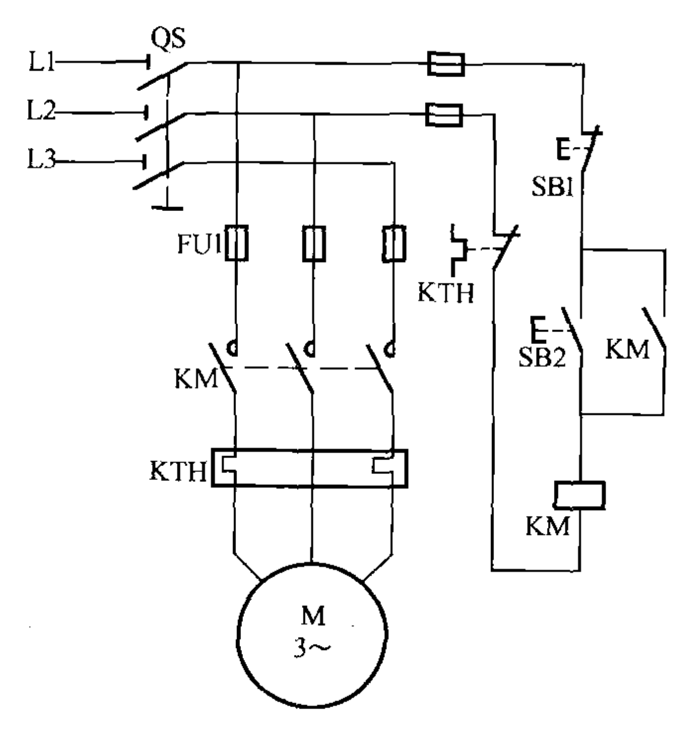


图 1-2 电动机单向运行控制线路

（三）可逆运行控制线路

在生产实际中很多生产机械和设备都要求其配套电动机能可

逆运行，即能够正、反转。例如机床工作台的前进、后退，起重机的上升、下降等。要达到这个要求是很容易的，我们只需将电源或电动机的相序任意调换两相即可。在控制线路中两根相线的交换是由两个交流接触器来完成的。所以，电动机的可逆运行线路实质上是由两个方向相反的单向运行电路组成的。为了避免误操作而引起的相间短路，在这两个方向相反的单向运行电路中加设了锁住对方的联锁，因而提高了该控制线路的安全性和可靠性，图 1-3 所示即为电动机可逆运行控制线路。

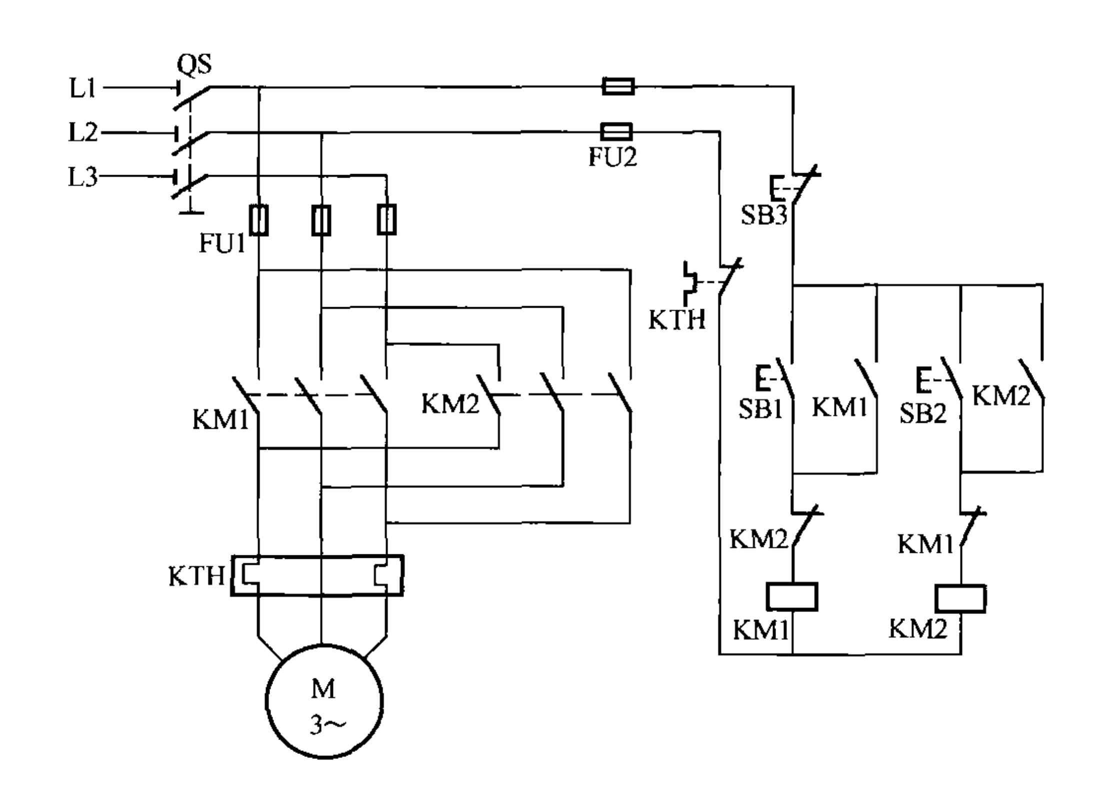


图 1-3 电动机可逆运行控制线路

（四）可逆运行带点动和联锁的控制线路

图 1-4 所示即为可逆运行带点动和联锁的控制线路。一般，点动控制线路多具有不设停止按钮的特点，这是因为点动按钮本身即具有起动和停止两个功能。同时点动控制线路也不设自锁触头，所以图 1-4 中的点动按钮 SB4、SB5 均采用复合按钮。在正、反转进行点动时，复合按钮的动断触头将自锁电路断开。此线路是采取按钮联锁、接触器联锁和点动控制三者结合，因而具

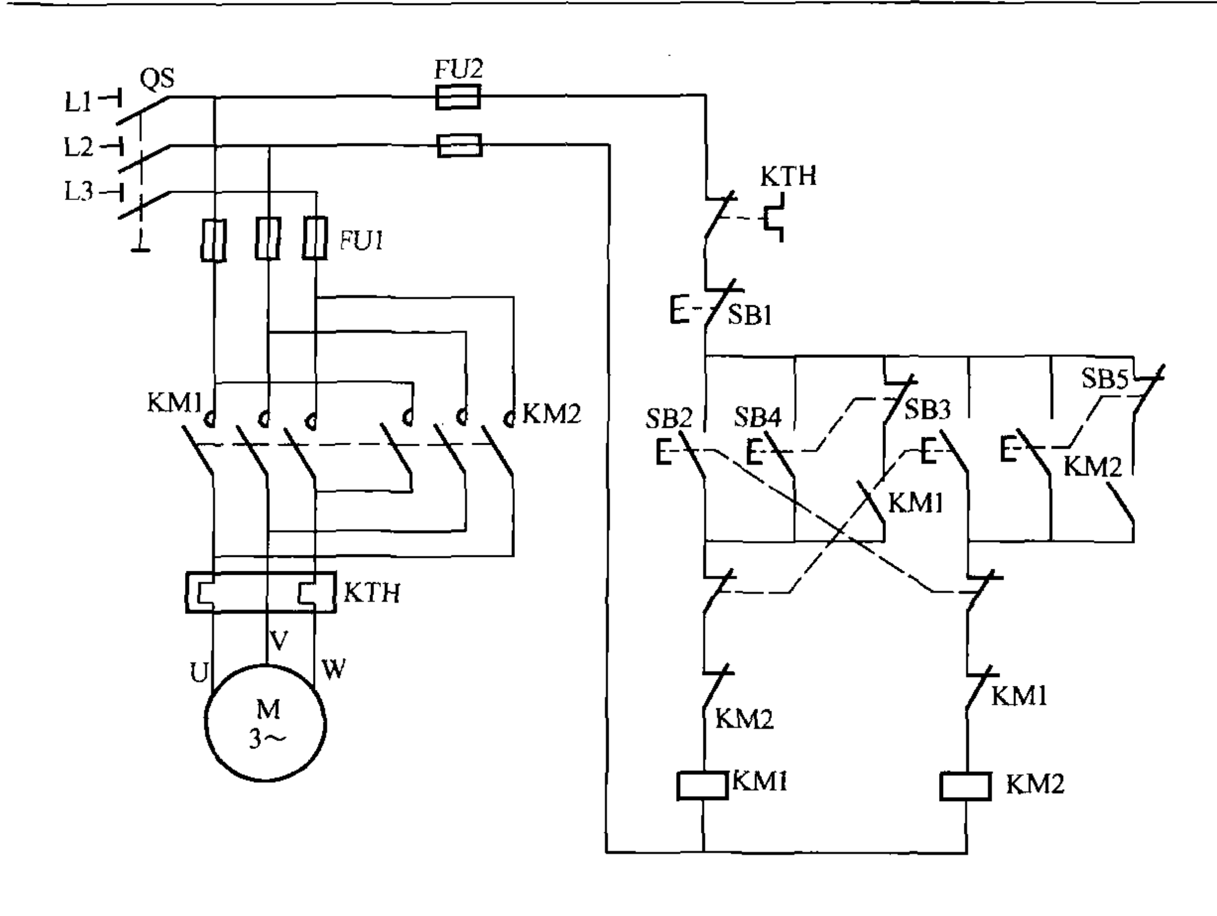


图 1-4 可逆运行带点动和联锁的控制线路

有连续运行和可调整的功能。

（五）具有自动循环及限位的控制线路

许多机床的工作台都需要自动循环方式工作，它的往返信号是由位置开关发出的。我们从图 1-5（a）中可以看出，当工作台前进挡铁压下位置开关 SQ1 时，SQ1 即发出电动机反转信号，使工作台后退而 SQ1 复位；而当工作台后退到挡铁压下位置开关 SQ2 时，SQ2 则将发出电动机正转信号，使工作台前进，到前进结束时挡铁再次压下 SQ1，如此往复运动而不断循环下去。位置开关 SQ3、SQ4 则为行程极限保护开关。在图 1-5（b）中，位置开关 SQ1 的动断触头与正转接触器 KM1 的线圈串联，SQ1 的动合触头则与反转起动按钮 SB3 并联。所以当挡铁压下位置开关 SQ1 时，SQ1 的动断触头即断开电动机的正转控制线路，使控制前进的接触器线圈 KM1 失电，电动机停止转动。同时 SQ1 的动合触头闭合并接通电动机的反转控制电路，使控制后退的接触器 KM2 通电，致使电动机反转而工作台后退。位置开

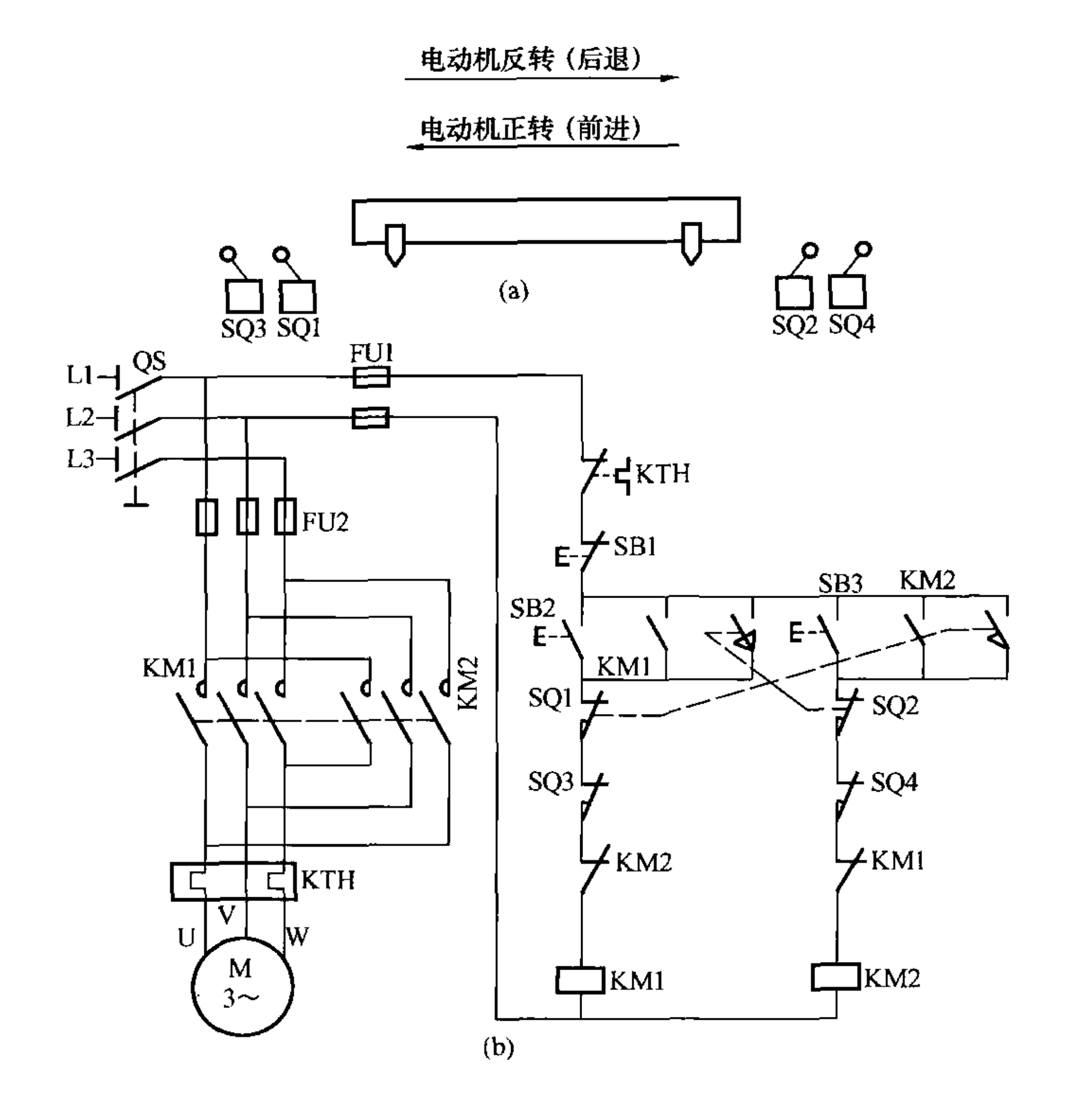


图 1-5　具有自动循环及限位的控制线路

（a）工作台示意图；（b）工作台运动控制线路

关 SQ2 的工作原理与 SQ1 相同，其情况可自行分析。行程极限位置开关 SQ3、SQ4 的动断触头分别串联在正、反转接触器的线圈电路中，当它们被挡铁压下时，其动断触头将断开正转（或反转）的控制电路，从而使电动机被断开电源停止运转。

二、三相笼型异步电动机降压起动控制线路

三相笼型异步电动机在具有全电压直接起动时，虽具有控制线路简单，维修工作量较少等许多优点，但是若电动机处于供电线路容量不足够大时，就不能采用全电压直接起动。这是因为三相异步电动机的起动电流可达其额定电流的 4～7 倍，这样大的冲击电流将导致供电线路电压大幅下降，使电动机本身的起动转

矩减小甚至无法起动，严重时还可能引起供电系统跳闸而使线路其他电动机停止运转。因此，为了限制和减小电动机起动电流对供电系统的冲击，容量较大的三相笼型异步电动机多采用降压起动，下面将简要介绍几种常用降压起动控制线路。

（一）电阻降压起动控制线路

这种降压起动方法就是在电动机起动过程中，利用在线路内串联电阻来降低电压，从而达到限制起动电流的目的。当起动过程结束，串联电阻即迅速被短接，电动机则进入全电压正常运行。图 1-6 所示即为三相异步电动机串电阻降压起动自动控制线路。

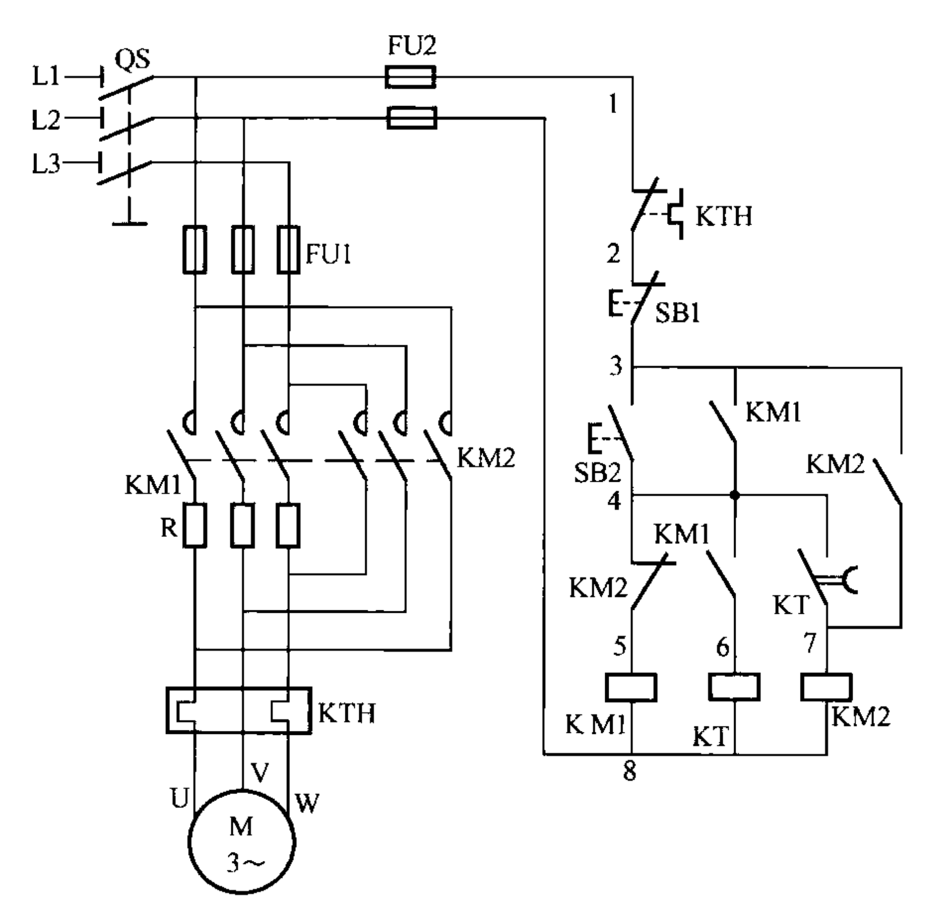


图 1-6 串电阻降压起动自动控制线路

（二）自耦变压器降压起动控制线路

在自耦变压器降压起动的控制线路中，三相异步电动机是依靠自耦变压器的降压特性来实现限制起动电流的。当电动机进行起动时，其定子绕组上得到的电压是来自于自耦变压器上低于电

源电压的二次电压。而一旦起动过程完毕，自耦变压器即被从线路上断开，电源额定电压则将直接加于电动机定子绕组，电动机即进入全电压正常运行。图 1-7 所示即为自耦变压器降压起动自动控制线路。

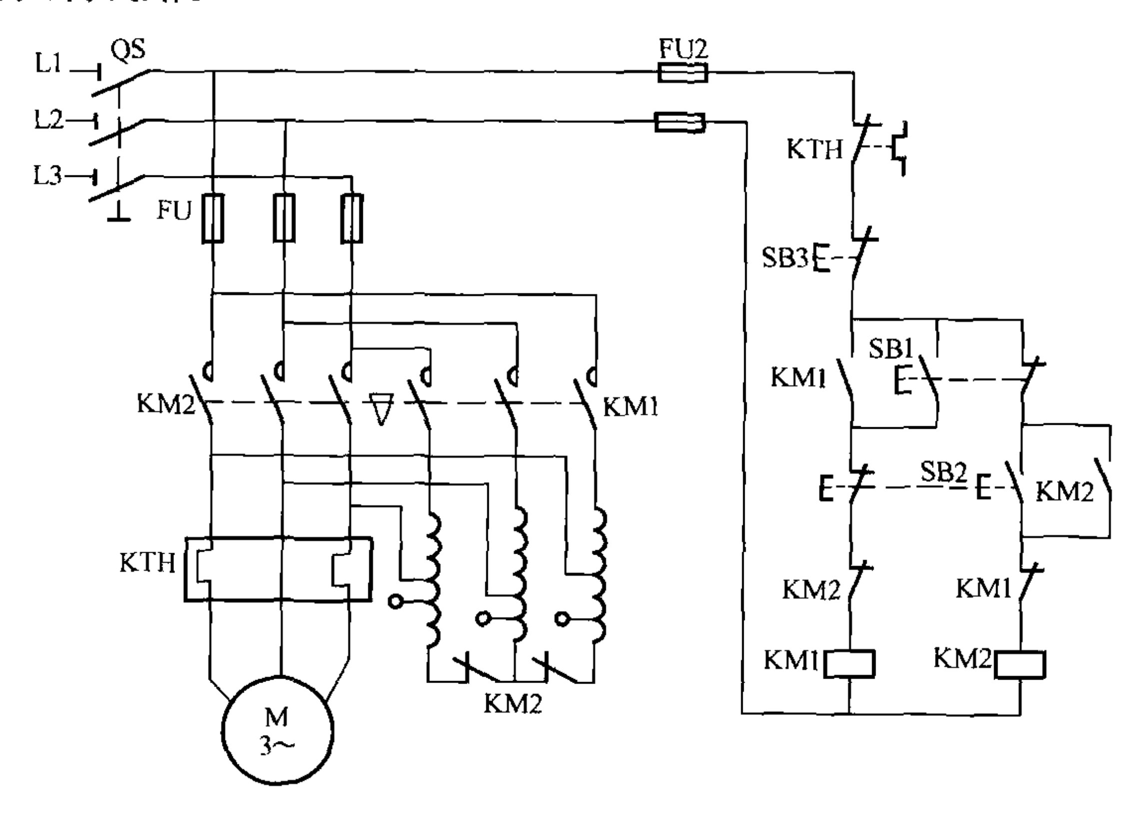


图 1-7 自耦变压器降压起动自动控制线路

（三）Y/△降压起动控制线路

三相异步电动机在额定电压运行时其定子绕组一般规定为三角形接法，因而多可采取使用 Y/△形降压起动的方式。即在电动机起动时，其定子绕组先接成 Y 形接法，待转速达到一定程度时，则将该定子绕组的接线方式由 Y 形接法改换成△形接法，电动机便进入全电压正常运行。图 1-8 所示即为 Y/△降压起动自动控制线路。

（四）△/△降压起动控制线路

这种△/△起动方法称为延边三角形起动法。当电动机在采用 Y/△降压法起动时，可以在不增加专用起动设备的情况下实现降压法起动。但因其起动电压所降幅度太大，至使电动机的起动转矩也大幅减小，故这种起动方法仅适用于空载或轻载起动的

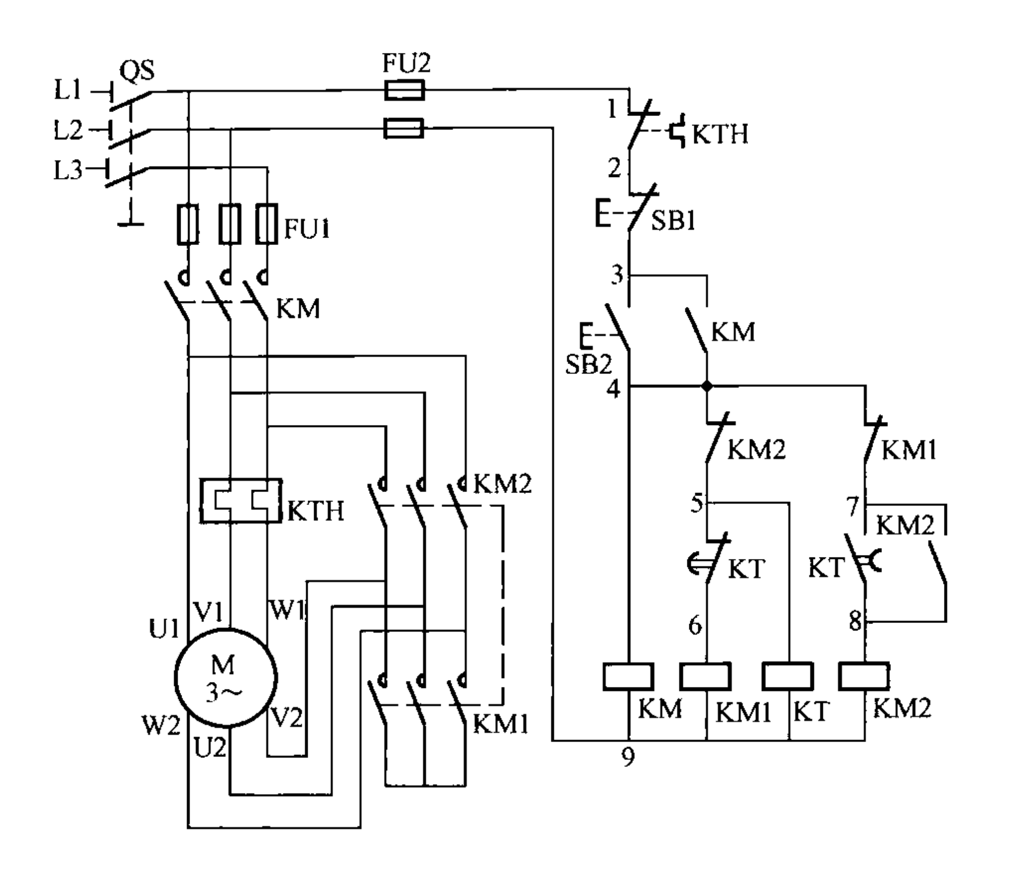


图 1-8　Y/△降压起动自动控制线路

电动机。而△/△降压起动法则是一种既不用增加专用起动设备，又能获得较高起动转矩的起动方法。它适用于定子绕组经特殊设计的J03系列异步电动机，这种电动机的绕组共有 9 个出线端，图 1-9 所示即为这种绕组的接线示意图。

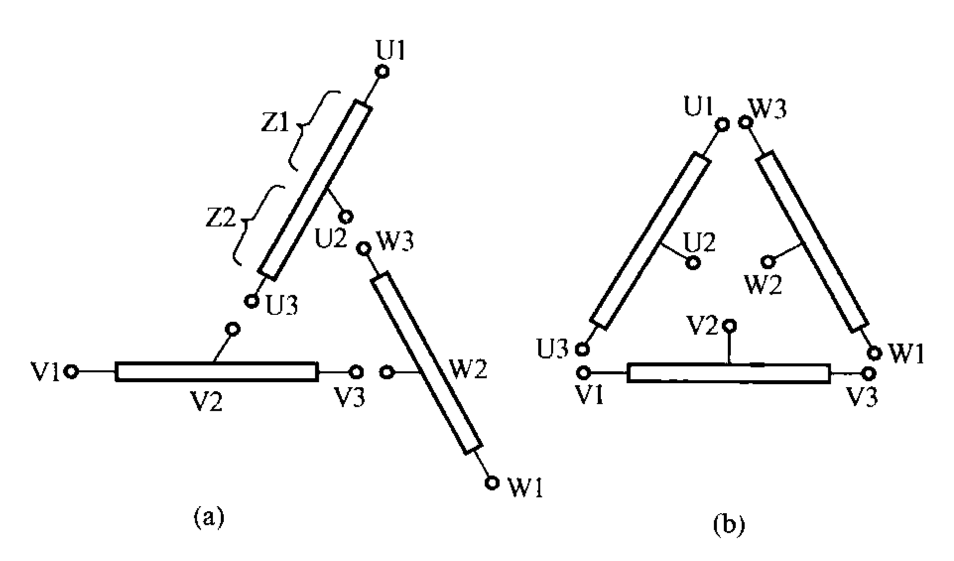


图 1-9　△/△接时电动机绕组接线示意图

（a）延边三角形接法；（b）三角形接法

这种延边三角形降压起动法，只需改变△形联接时其定子绕组的抽头比（即 N1 与 N2 之比），就能改变定子绕组相电压的大小，从而达到改变电动机起动转矩的大小。但一般来说，电动机绕组的抽头比早已先期确定，所以电动机的起动转矩也只能在这些抽头比的范围内作有限调整。图 1-10 所示即为⩟/△形降压起动控制线路。

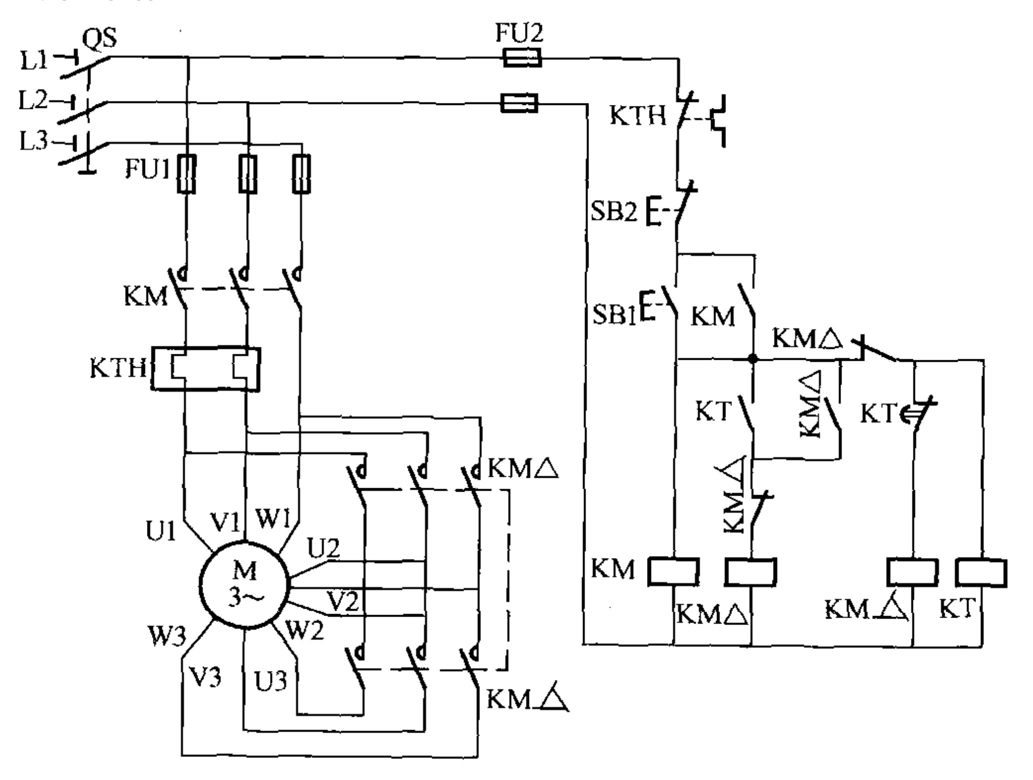


图 1-10 ⩟/△降压起动控制线路

三、三相绕线转子异步电动机起动控制线路

三相绕线转子异步电动机由于具有起动电流小、起动转矩大，以及有一定的调速性能等特点。因而，常用于需要在较大负荷下起动的设备中，例如矿山机械、水泥机械及起重设备等。它的起动方式主要是起动时在电动机转子绕组中串接电阻，并随着转速的上升而逐步切除电阻，直至最后将转子绕组所串接的电阻短路。同时，也可通过改变转子绕组中所串入电阻的阻值来实现有限调速。图 1-11 所示即为三相绕线转子异步电动机串电阻时间继电器自动控制起动线路。

由于利用接触器逐级切除电阻时，会引起电动机的电流和转

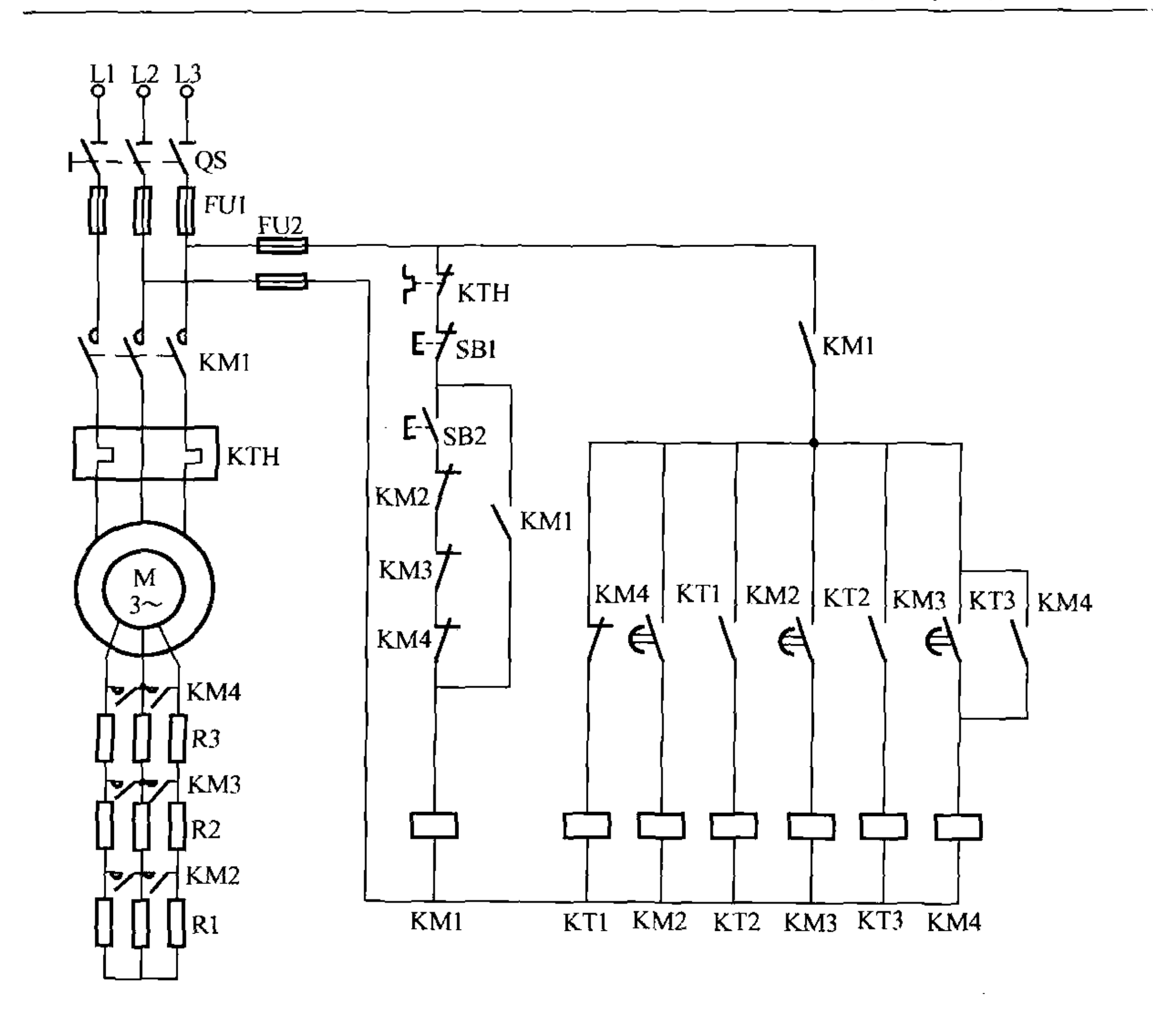


图 1-11　转子绕组串电阻时间继电器自动起动控制线路

速突然变化，从而产生机械性冲击。对一些不需要利用改变电阻进行调速的负载，则可以采用阻值随转子频率而自动变化的频敏变阻器，去取代一般电阻器起动绕线转子异步电动机。图 1-12 所示即为采用频敏变阻器起动的控制线路。

四、直流电动机起动控制线路

直流电动机具有良好的起动性能、调速性能和宜于频繁起动等一系列优点，因此，在要求大起动转矩和大范围无级调速的场合常采用直流电动机来拖动负载。下面简要介绍几种直流电动机基本控制线路。

（一）并励直流电动机起动控制线路

由于直流电动机的电枢绕组电阻一般均很小，如果直接起动则将产生较大的起动电流，该起动电流就有可能对线路或直流电

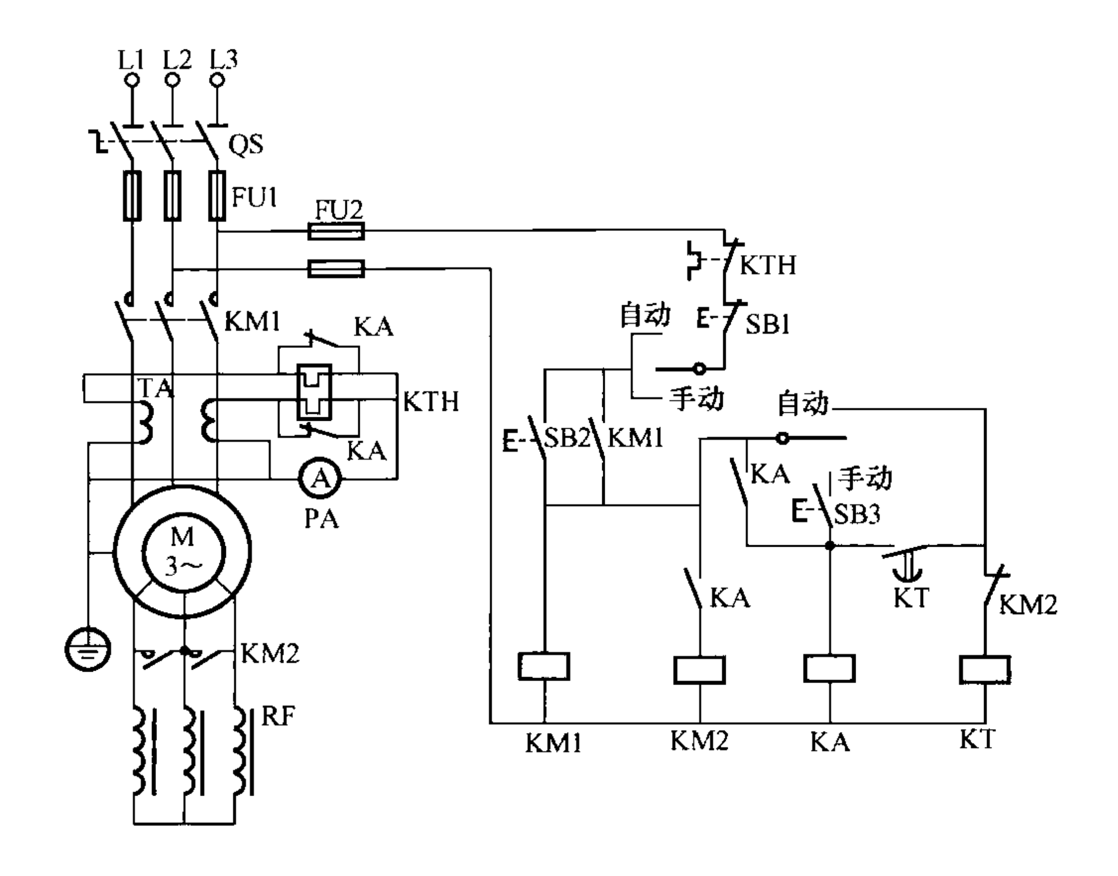


图 1-12 频敏变阻器起动控制线路

动机造成损害。因此，直流电动机起动应避免此类问题的发生。限制并励直流电动机起动电流的方法很多，常用的有减小电枢电压和在电枢回路串电阻两种。图 1-13 所示即为并励直流电动机电枢回路串电阻二级起动控制线路。

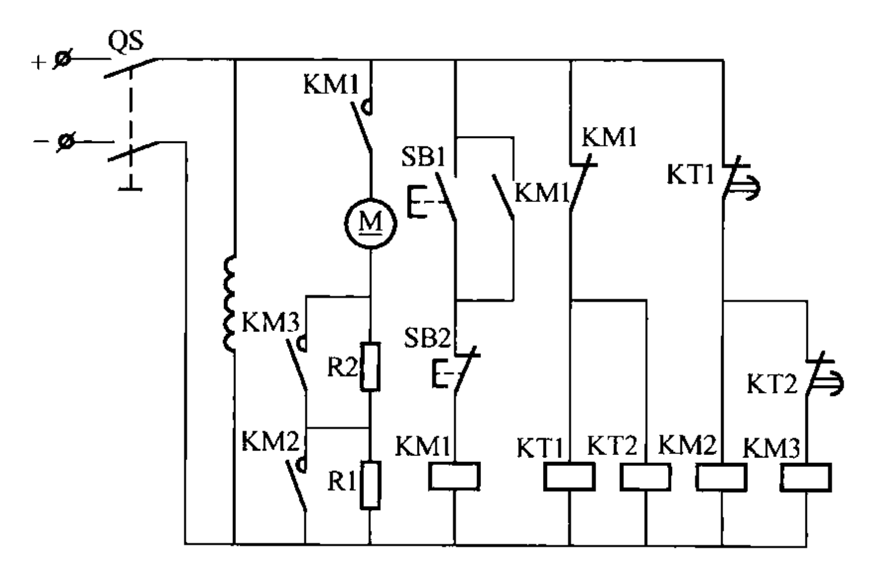


图 1-13 并励直流电动机电枢回路串电阻二级起动控制线路

（二）并励直流电动机正、反转控制线路

改变直流电动机旋转方向通常有两种方法，一种是电枢反接法，即保持励磁磁场方向不变，只改变电枢电流方向；另一种则为磁场反接法，即保持电枢电流不变，只改变励磁绕组的电流方向。图 1-14 所示即为并励直流电动机采用电枢反接法的正、反转控制线路。

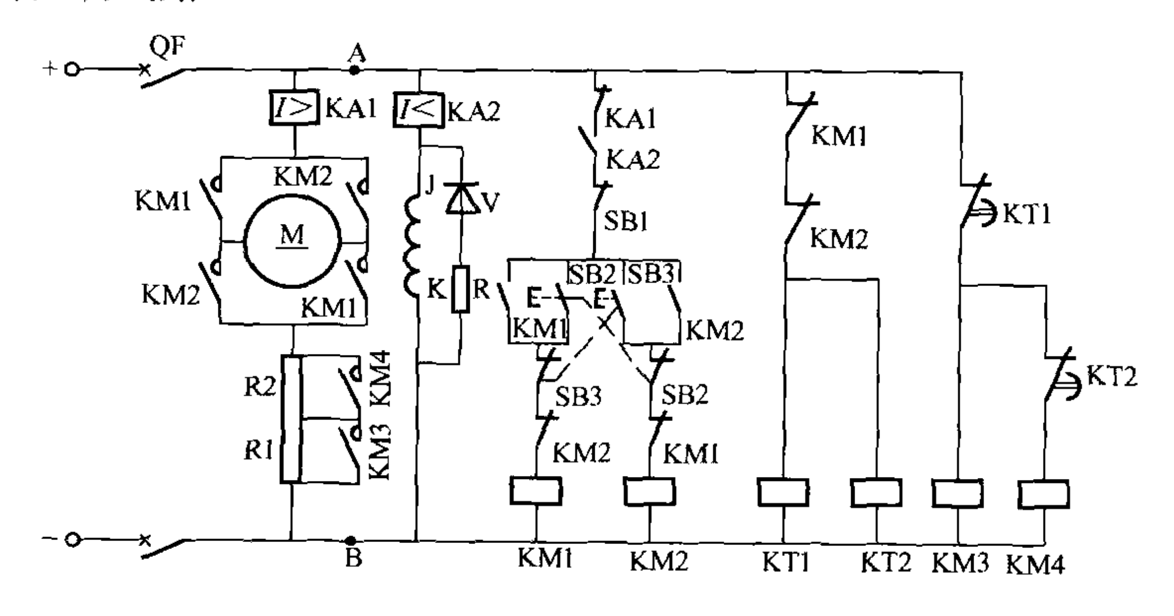


图 1-14 并励直流电动机电枢反接法正、反转控制线路

（三）并励直流电动机能耗制动控制线路

直流电动机的制动方法主要分为机械制动和电力制动两大类，机械制动方法常见的为电磁抱闸制动。电力制动方法常用的有能耗制动、反接制动和回馈制动等。图 1-15 所示即为直流电动机能耗制动控制线路，能耗制动是指在维持直流电动机励磁电源不变的情况下，把正在作电动机运行的直流电动机电枢从电源断开，再串接上一个外加制动电阻以组成制动电阻回路，将电动机的机械动能变成热能消耗掉。由于电动机的惯性运转，直流电动机此时已变为发电机工作状态，即其产生的电磁转矩与转速方向相反，从而实现了电动机的制动。

（四）串励直流电动机起动控制线路

串励直流电动机相对于并励和他励直流电动机而言，它具有较大的起动转矩和良好的起动性能。串励直流电动机的机械特性

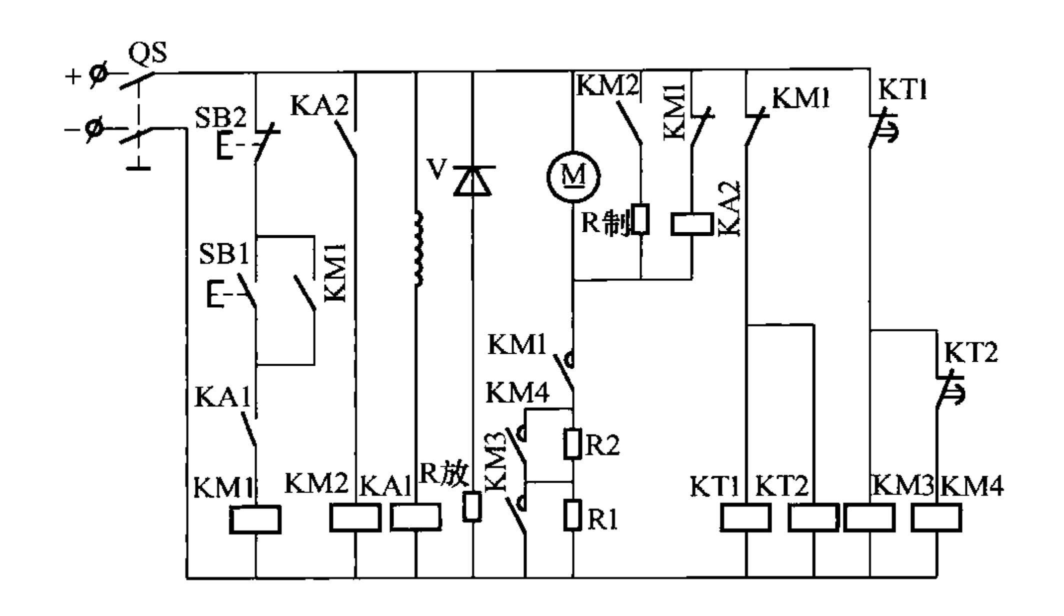


图 1-15　并励直流电动机能耗制动控制线路

则较软，因而这使它在转矩增大时能自动将转速下降，自动去调整功率的稳定，不致因转矩过大而过载。但串励直流电动机绝不允许空载或轻载起动、运行，因为串励直流电动机在空载或轻载运行时，将会因转速过高而导致负载设备及电动机损坏。图1-16所示即为串励直流电动机起动控制线路。

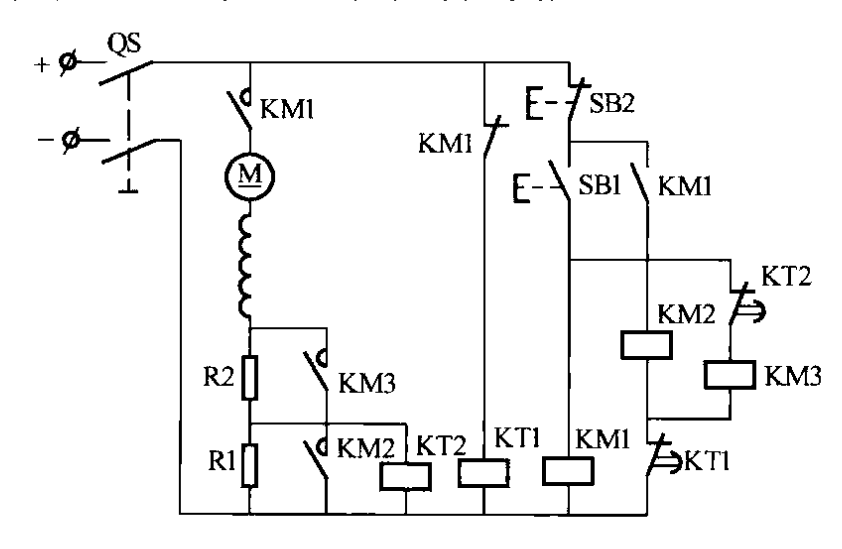


图 1-16　串励直流电动机起动控制线路

（五）串励直流电动机正、反转控制线路

由于串励直流电动机的电枢两端电压很高，而励磁绕组两端的电压都很低，故磁场反接起来较为容易。因此，串励直流电动机的反转方法宜采用磁场反接法，即保持电枢电流的方向不变，

只改变励磁绕组内的电流方向。图 1-17 所示即为串励直流电动机正、反转控制线路。

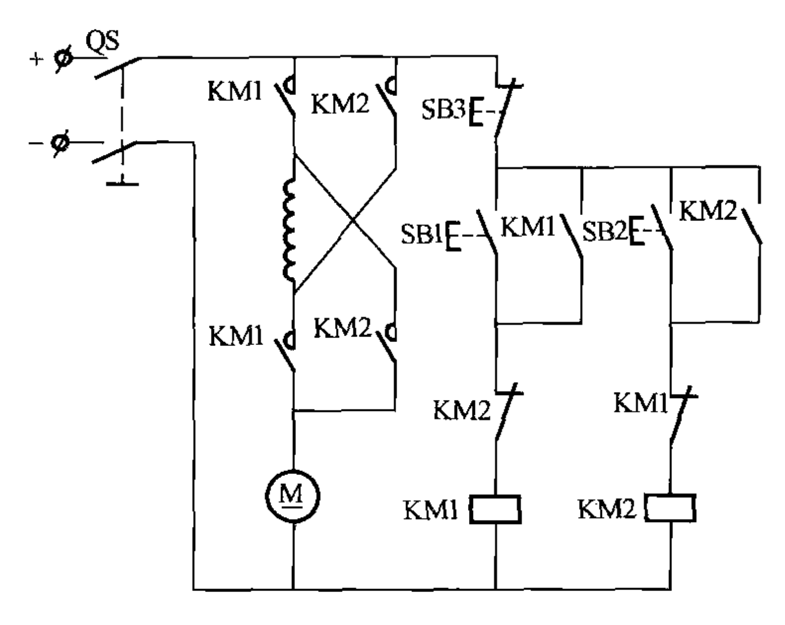


图 1-17　串励直流电动机正、反转控制线路

（六）串励直流电动机的能耗制动控制线路

串励直流电动机的能耗制动，就是使其由电动机工作状态变为发电机工作状态，以产生与电动机转向相反的制动转矩。图 1-18 所示即为串励直流电动机自励式能耗制动控制线路。

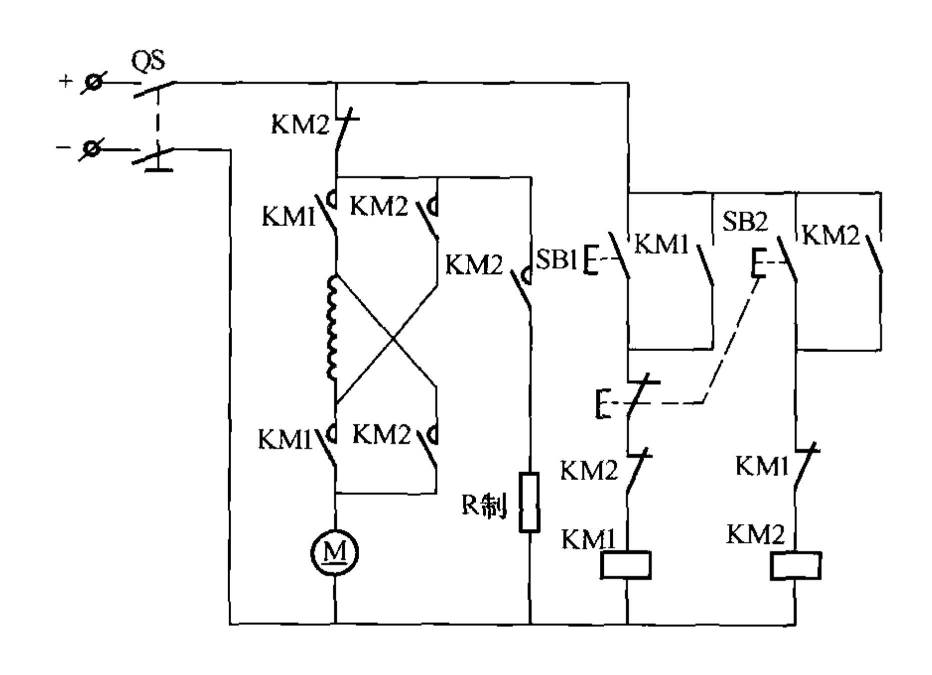


图 1-18　串励直流电动机自励式能耗制动控制线路

（七）他励直流电动机起动自动控制线路

他励直流电动机是在其电枢回路中，采用串联两级电阻降压来进行起动控制的。图 1-19 所示即为他励直流电动机起动自动控制线路。

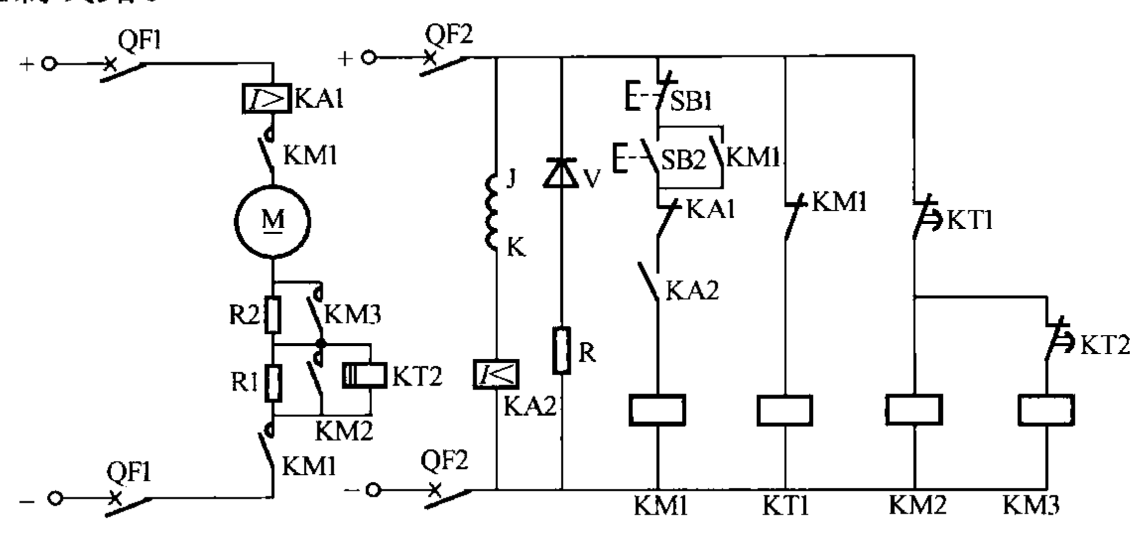
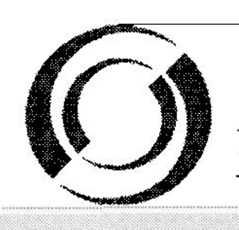


图 1-19　他励直流电动机起动自动控制线路



第 2 章

三相异步电动机电气控制线路

Chapter 2

三相异步电动机以其构造简单、价格便宜、运行可靠、维修方便等一系列优点，被作为动力设备去拖动各种生产机械，广泛应用于国民经济各领域中。为适应各类生产机械设备的工作要求，三相异步电动机也就有着诸多差异及变化的电气控制线路。

常见三相异步电动机的电气控制线路有：全压起动控制线路；降压起动控制线路；调速控制线路；制动控制线路；继电保护线路；以及点动控制、单向运行控制、可逆运行控制、位置控制、顺序控制、多地控制和自动控制等。本章即选绘了这方面的部分电气控制线路图实例。

第 1 节　全压起动控制线路

全压起动又称直接起动，它是对电动机施以全部额定电压的起动方法。这种方法具有线路简单、操作方便、所需电气设备少等优点，其缺点是起动电流大而对电源有较大冲击，故多于小功率三相异步电动机的起动中。根据生产机械和生产工艺的具体要求，全压起动控制线路可以有点动控制、连续控制、可逆运行控制，以及自动控制、位置控制、顺序控制和制动控制等。

例 2-1　连续单向运行控制线路

图 2-1 所示即为连续单向运行控制线路。该线路在按下起动按钮 SB1 后，接触器 KM 的电磁线圈得电动作接通主电路而使电动机运转。当松开起动按钮 SB1 后，这时因接触器 KM 的辅助触点闭合而自锁，使控制电路仍保持通电，主电路也就继续通

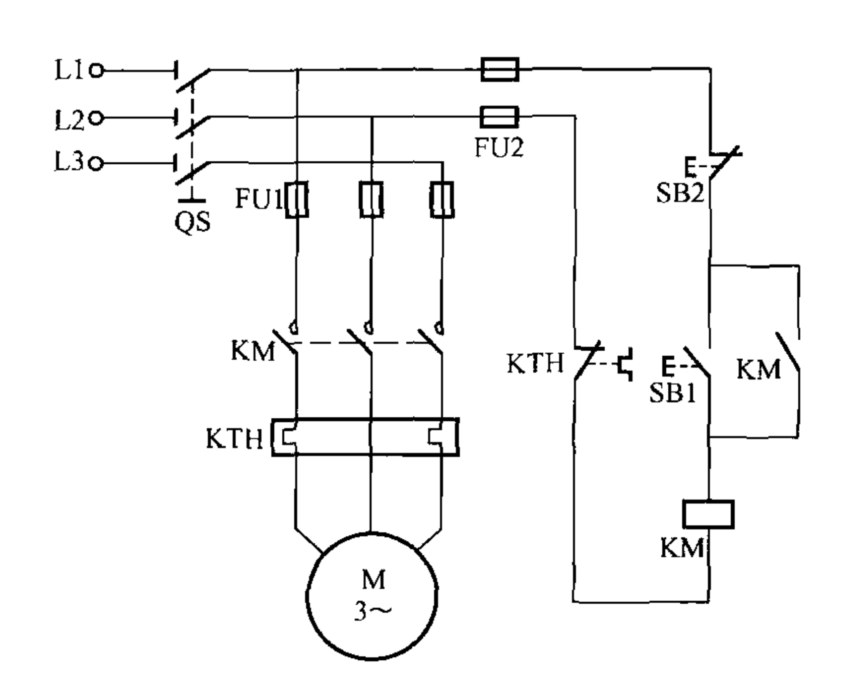


图 2-1　连续单向运行控制线路

电，故电动机得以连续运行。

例 2-2　带手动开关的点动与连续运行控制线路

图 2-2 所示即为带手动开关的点动与连续运行控制线路。该线路是在连续单向运行控制线路的基础上，将增加的手动开关 SA 串接在其自锁电路中实现的，操作时应先闭合手动开关 SA 才可进行连续运行。

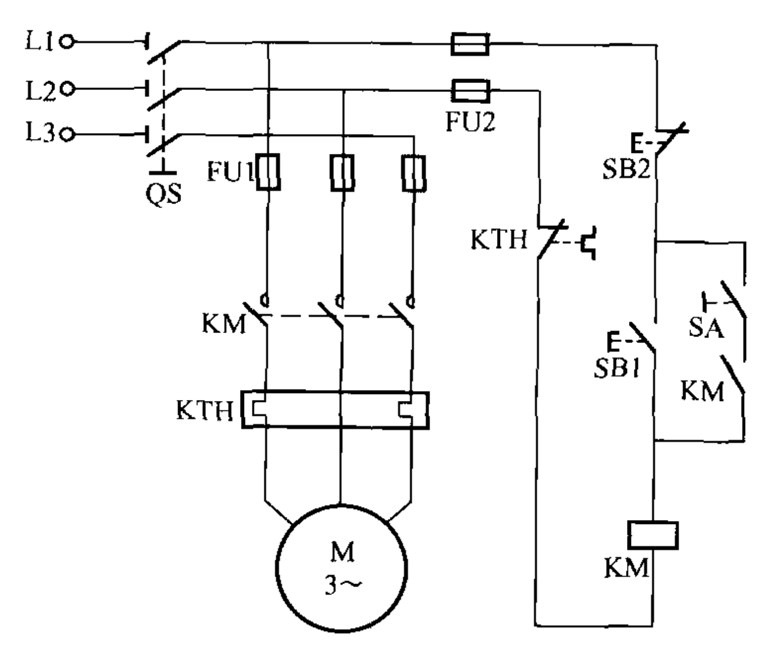


图 2-2　带手动开关的点动与连续运行控制线路

例 2-3　带复合按钮的点动与连续运行控制线路

图 2-3 所示即为带复合按钮的点动与连续运行控制线路。该线路是在连续单向运行控制线路的基础上，加装了一只复合按钮 SB2 来实现电动机点动与连续运行控制的。

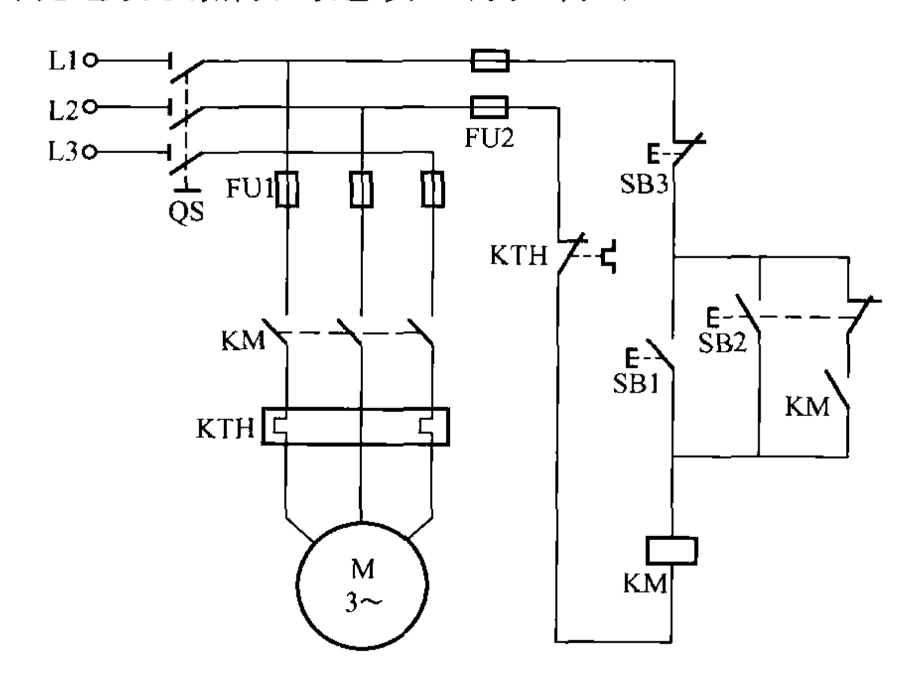


图 2-3　带复合按钮的点动与连续运行控制线路

例 2-4　双按钮单向运行控制线路

图 2-4 所示即为采用双按钮单向运行控制线路，该线路通过

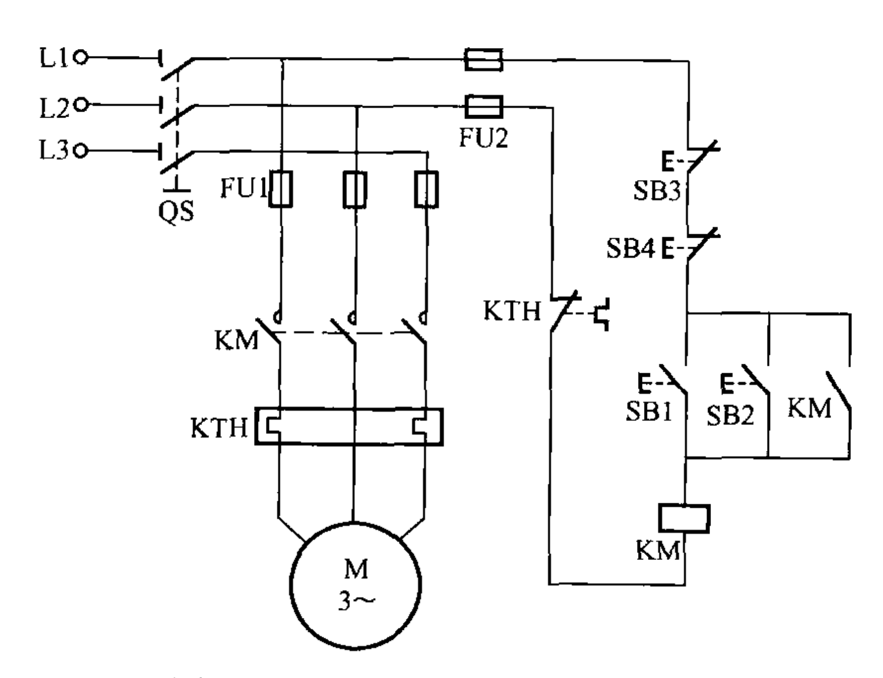


图 2-4　双按钮单向运行控制线路

两只起动按钮 SB1、SB2 和两只停止按钮 SB3、SB4，同时对电动机作连续单向运行控制，接触器 KM 的辅助触点则起自锁作用。双按钮单向运行控制线路适用于两地控制的生产机械。

例 2-5　多按钮单向运行控制线路

图 2-5 所示即为多按钮单向运行控制线路。对于该类控制线路无论其按钮增加多少对，均只须将起动按钮并接在接触器 KM 的辅助触点两端，而所有停止按钮则串接在控制电路上，即可达到对电动机多地控制的目的。

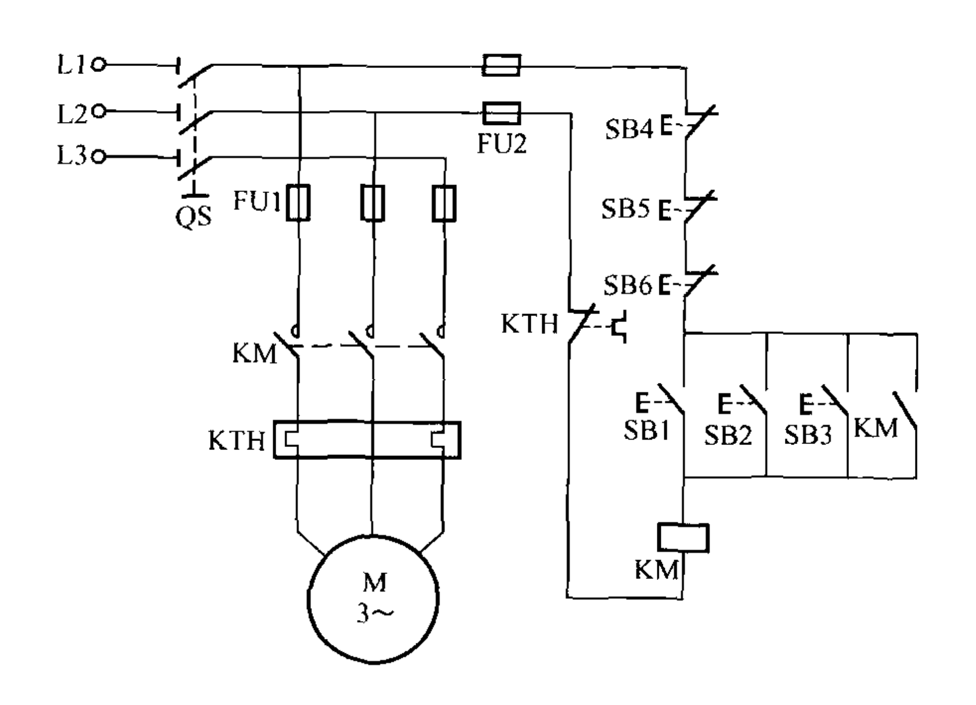


图 2-5　多按钮单向运行控制线路

例 2-6　点动与连续单向运行两地控制线路

图 2-6 所示即为点动与连续单向运行两地控制线路。该线路采用两组按钮，故除了能对电动机进行点动与连续单向运行控制外，还可实行两地控制。操作时，按下起动按钮 SB1 或 SB2，接触器 KM 的电磁线圈得电接通主电路，其辅助触点闭合自锁，电动机作单向连续运行。按下点动按钮 SB3 或 SB4 时，由于这两只复合按钮的常闭触点将接触器 KM 辅助触点断开而不能自锁，因而电动机即作点动断续运行。

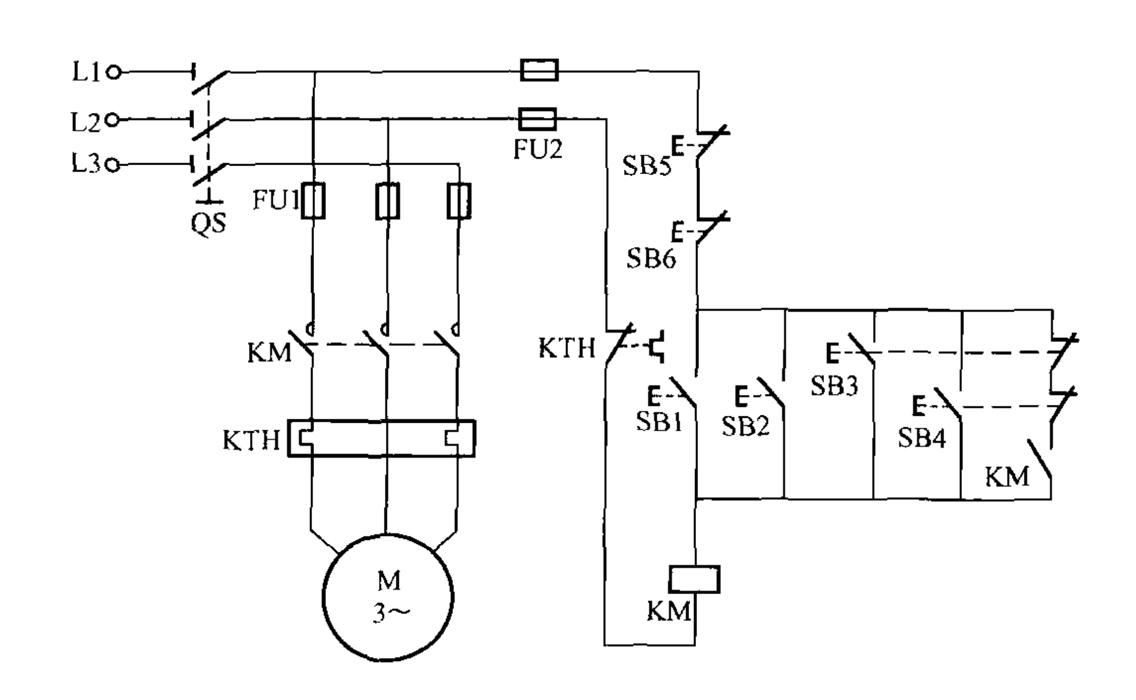


图 2-6　点动与连续单向运行两地控制线路

例 2-7　自动快速再起动单向运行控制线路

图 2-7 所示即为电动机自动快速再起动单向运行控制线路。该线路能使电动机在经短暂停电后，又能很快恢复供电时快速自动起动电动机。线路通过中间继电器 KA、时间继电器 KT 进行自动控制。只要电源线路短暂停电时间不超过时间继电器 KT 所

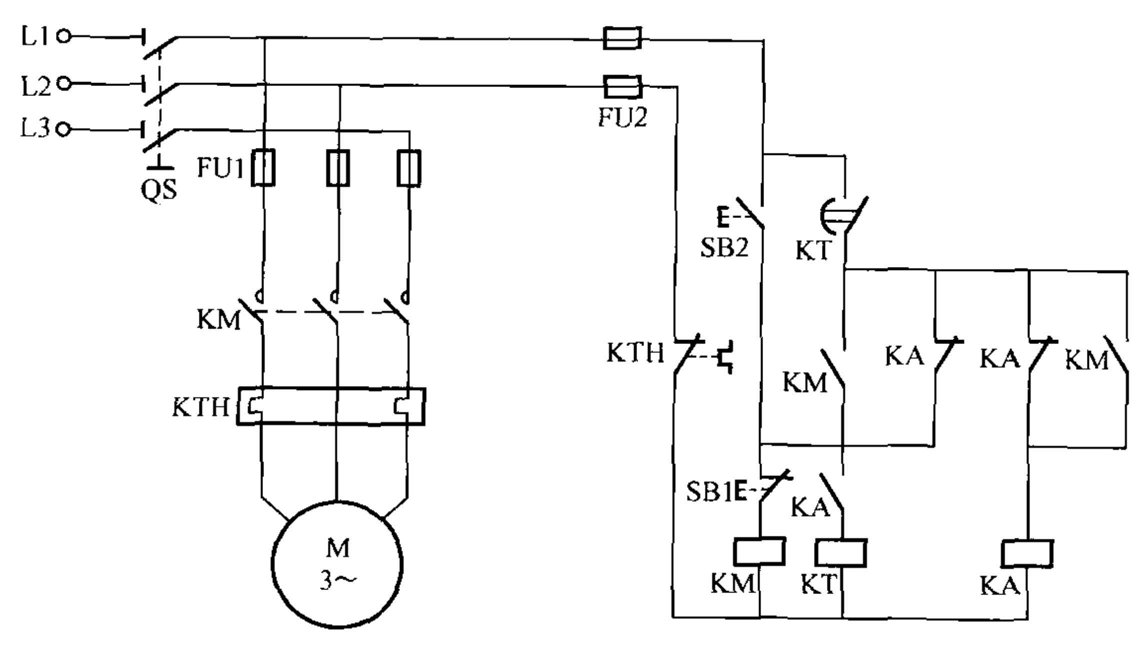


图 2-7　自动快速再起动单向运行控制线路

设定的延时时间，电动机就会在恢复供电后立即再起动。正常停止电动机运行时，应使按下停止按钮的时间长些。

例 2-8　带转换开关的点动、连续单向运行控制线路

图 2-8 所示即为带转换开关的点动、连续单向运行控制线路。该线路中装置有一只转换开关 QC，利用它就能灵活地改变控制方式，方便地进行点动或连续单向运行控制。

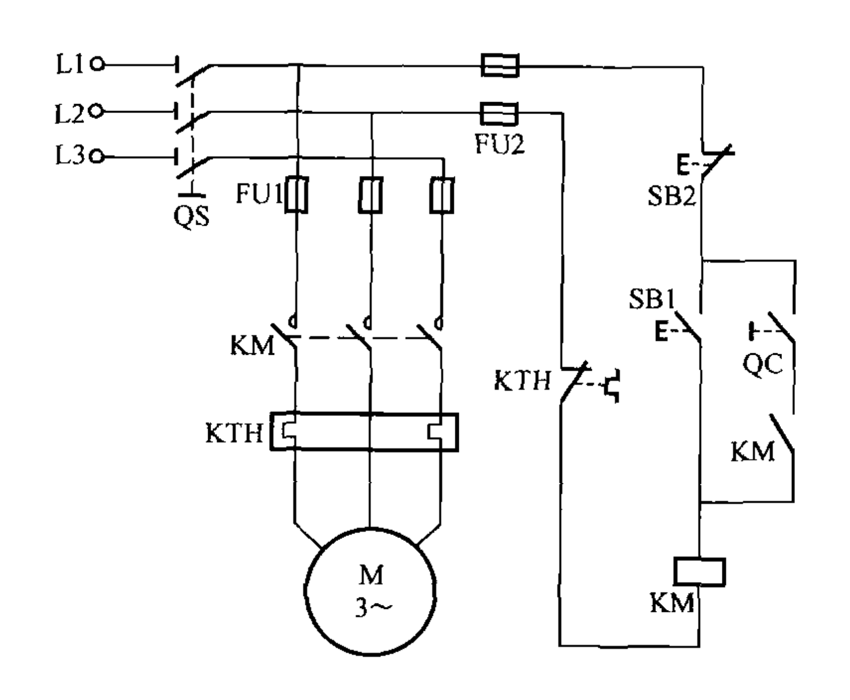


图 2-8　带转换开关的点动、连续单向运行控制线路

例 2-9　按周期重复工作的单向运行控制线路

图 2-9 所示即为按周期重复工作的单向运行控制线路。该线路能控制电动机在运行一段时间后自动停止运转，然后再自行起动运行，这样反复地重复上述动作，也就是周期性运行。

例 2-10　起动时能发出信号的单向运行控制线路

图 2-10 所示即为电动机起动时能发出信号的单向运行控制线路。该线路配置了电铃和灯泡作为声光信号装置，经时间继电器触点的闭合与断开，使电动机在起动时能发出声光信号。当电动机起动过程完毕进入正常运行时，信号装置则停止工作。本线路适用于靠电动机传动部件移动范围比较大的机械设备，以保证

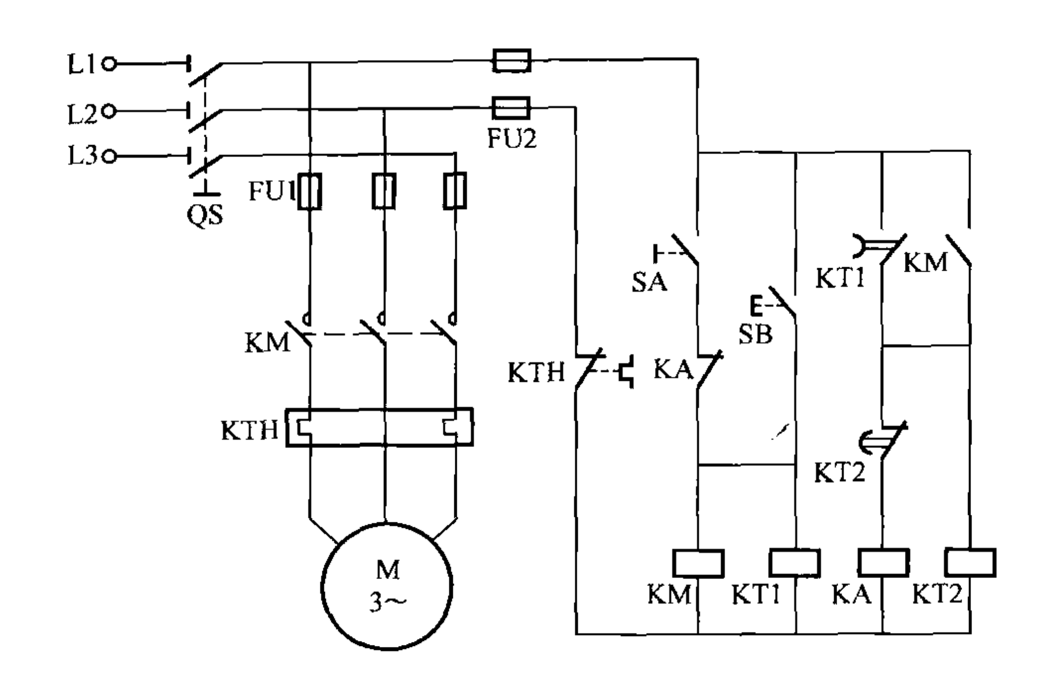


图 2-9　按周期重复工作的单向运行控制线路

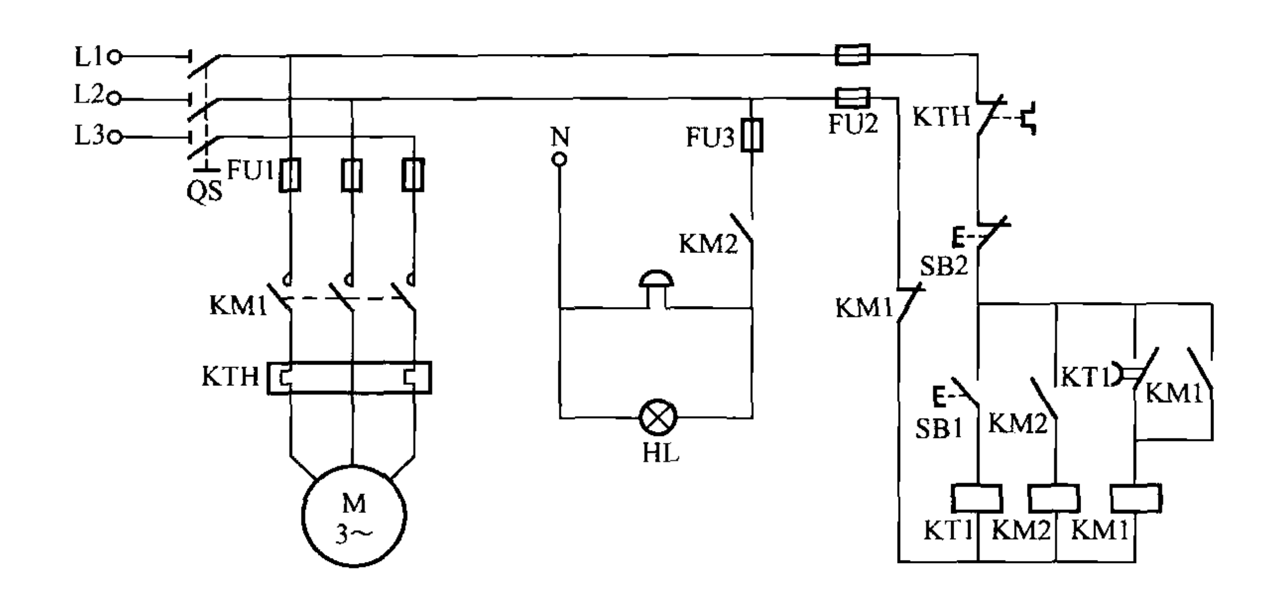


图 2-10　起动时能发出信号的单向运行控制线路

电动机能安全可靠地运行。

例 2-11　点动可逆运行控制线路

图 2-11 所示即为点动可逆运行控制线路。该线路利用两只常开按钮即实现了电动机的点动可逆运行。从图中可以看出，当按下起动按钮 SB1 时，电动机作正向运转，松开 SB1 电动机即停转；同样在按下起动按钮 SB2 时，电动机即作反向运转。两

接触器 KM1、KM2 的辅助触点进行联锁保护。

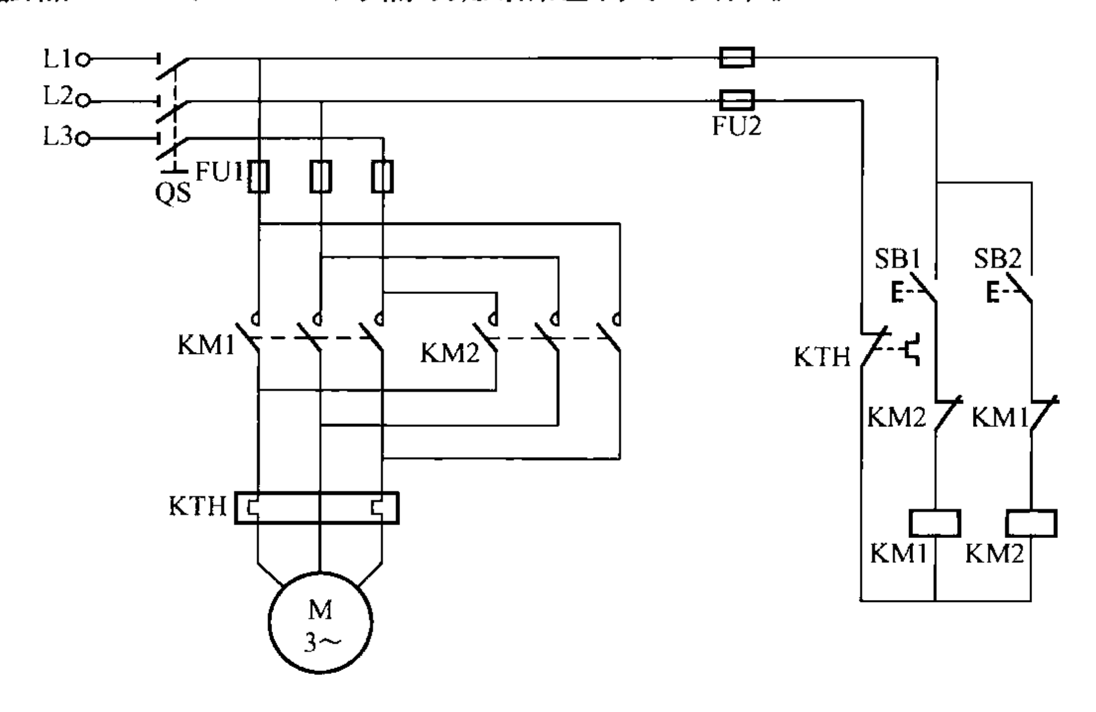


图 2-11　点动可逆运行控制线路

例 2-12　接触器联锁可逆运行控制线路

图 2-12 所示即为采用接触器联锁可逆运行的控制线路。为使电动机能作可逆运行，必须改换两只接触器上电源电路或电动

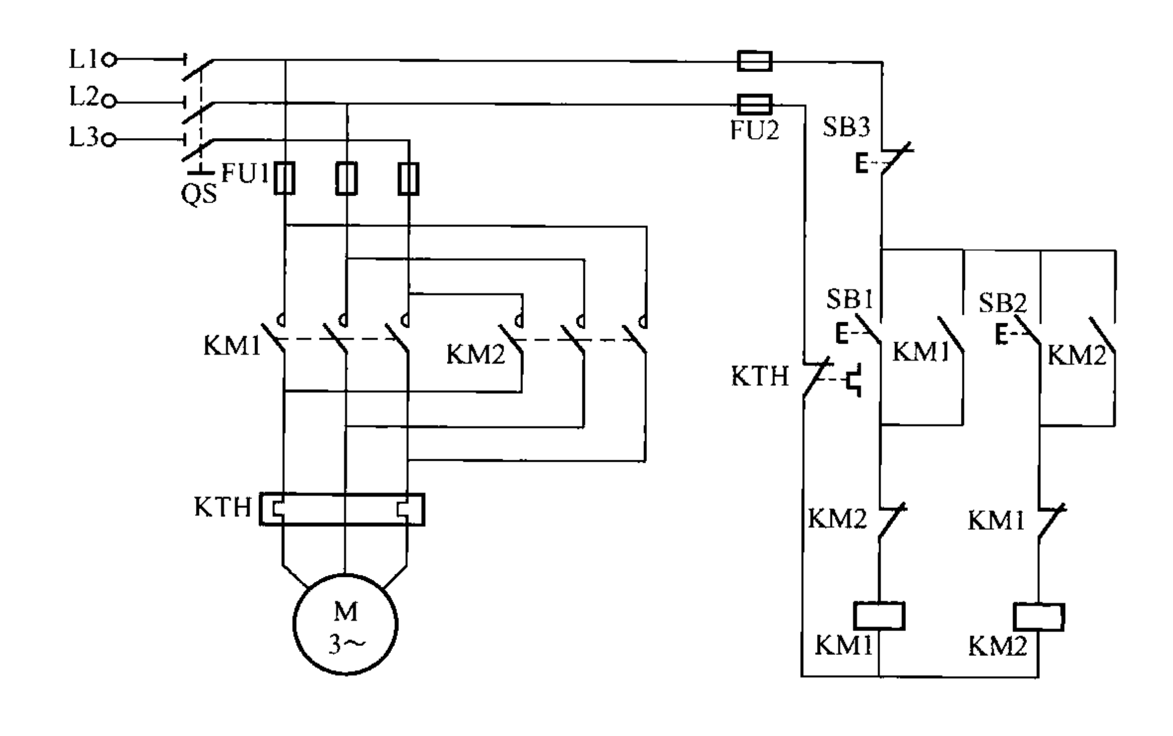


图 2-12　接触器联锁可逆运行控制线路

机线路三相的相序，也就是互换任意两相的接线位置。两接触器的辅助触点相互联锁进行保护。

例 2-13　接触器联锁带点动可逆运行控制线路

图 2-13 所示即为采用接触器联锁带点动可逆运行控制线路。该线路是一种使电动机既能断续可逆运行又能连续可逆运行，并由接触器辅助触点作联锁的控制线路。此线路适用于需要可逆断续与连续运行的机械设备。

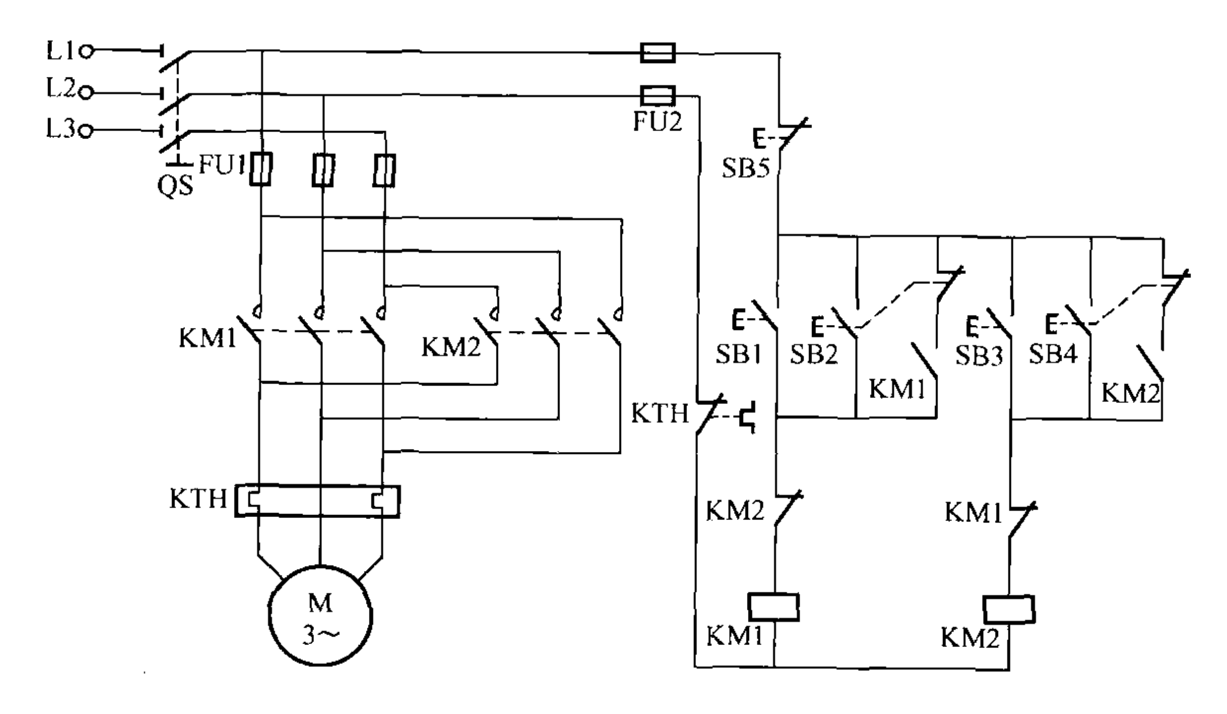


图 2-13　接触器联锁带点动可逆运行控制线路

例 2-14　三接触器可逆运行控制线路

图 2-14 所示即为采用三只接触器组成的可逆运行控制线路。这种控制线路由于选用了四断点的电路，因而能有效地熄灭接触器通断过程中产生的电弧，从而可以防止有可能因该电弧引起的短路故障。但当使用的接触器容量过大时，则设备投资将比较高。因此，在选用这种控制线路前应作全面分析。

例 2-15　按钮联锁可逆运行控制线路

图 2-15 所示即为采用按钮联锁的可逆运行控制线路。该线路能使电动机作可逆运行，由两对按钮互相联锁进行保护。这种

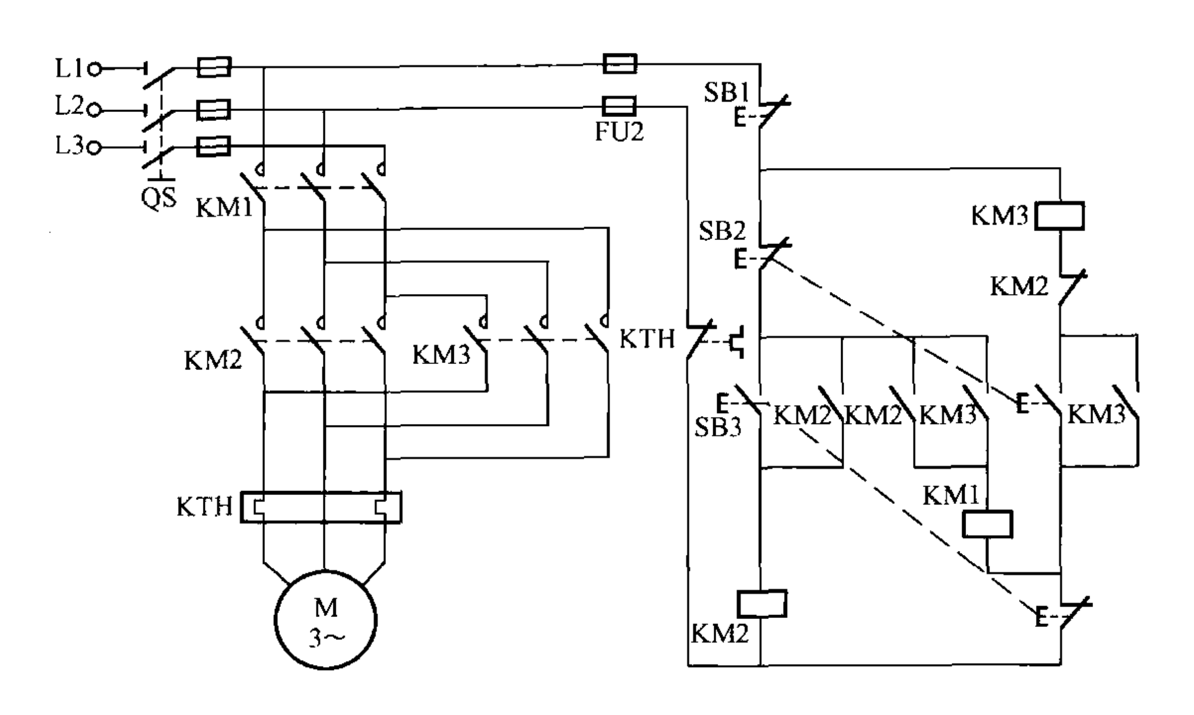


图 2-14　三接触器可逆运行控制线路

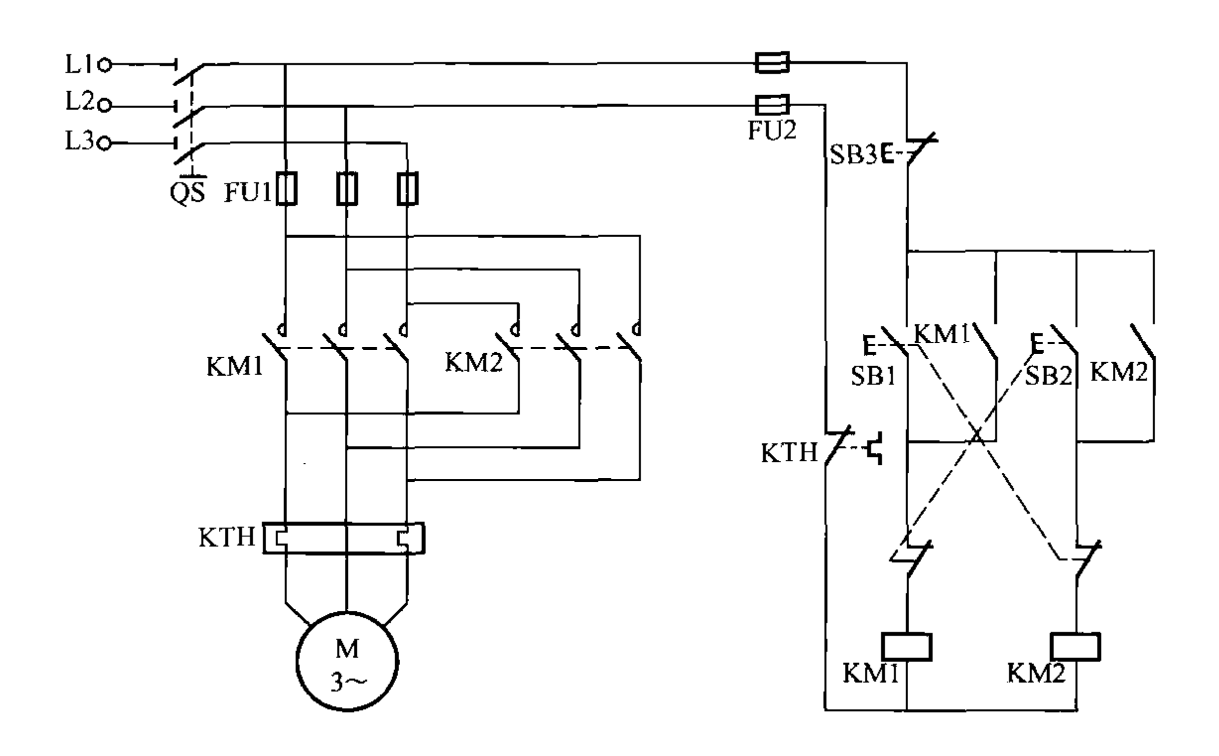


图 2-15　按钮联锁可逆运行控制线路

线路具有正、反转运行操作方便，直接按下正、反转按钮电动机就能作可逆运行。此线路适用于需要正、反转的生产机械。

例 2-16　带点动的按钮联锁可逆运行控制线路

图 2-16 所示即为带点动的按钮联锁可逆运行控制线路。这

是一种使电动机既能作点动断续可逆运行，又能作可逆连续运行的混合控制线路，并由按钮进行联锁保护。该线路适用于需要断续和连续可逆运行的机械设备。

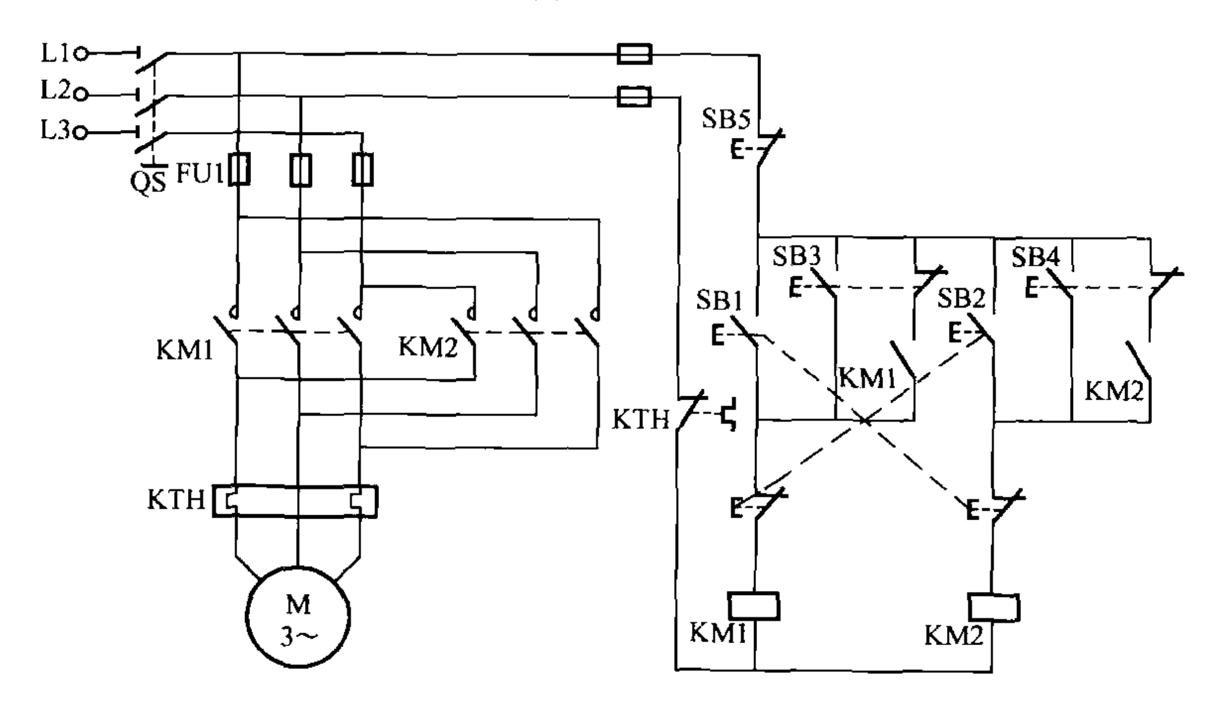


图 2-16　带点动的按钮联锁可逆运行控制线路

例 2-17　按钮与接触器双重联锁可逆运行控制线路

图 2-17 所示即为按钮与接触器双重联锁可逆运行控制线路。

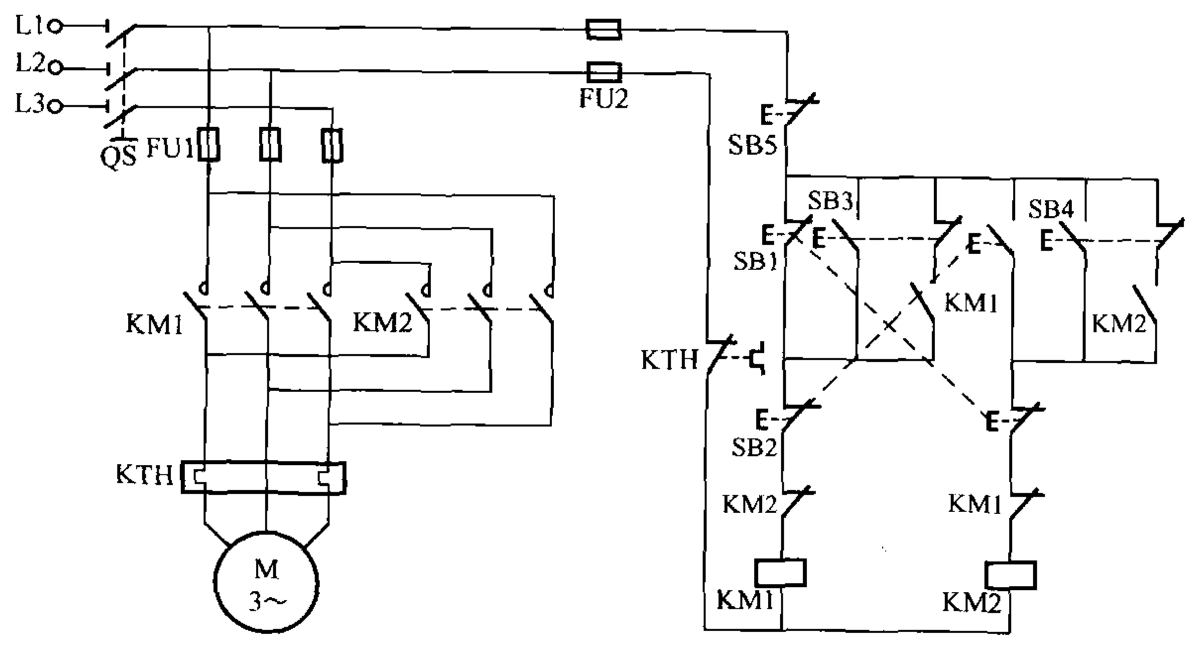


图 2-17　按钮与接触器双重联锁可逆运行控制线路

该线路既可以使电动机断续可逆运行，也能使其连续可逆运行，并且还具有按钮和接触器辅助触点双重联锁的安全保护。它适用于需要断续、连续可逆运行的机械设备。

例 2-18　带中间继电器的可逆运行控制线路

图 2-18 所示即为带中间继电器、接触器的可逆运行控制线路。该线路在控制部分增加了一只中间继电器 KA 来延长转换时间，从而能可靠避免正、反向运行接触器 KM1、KM2 同时吸合的可能性，故提高了控制线路联锁的可靠性。

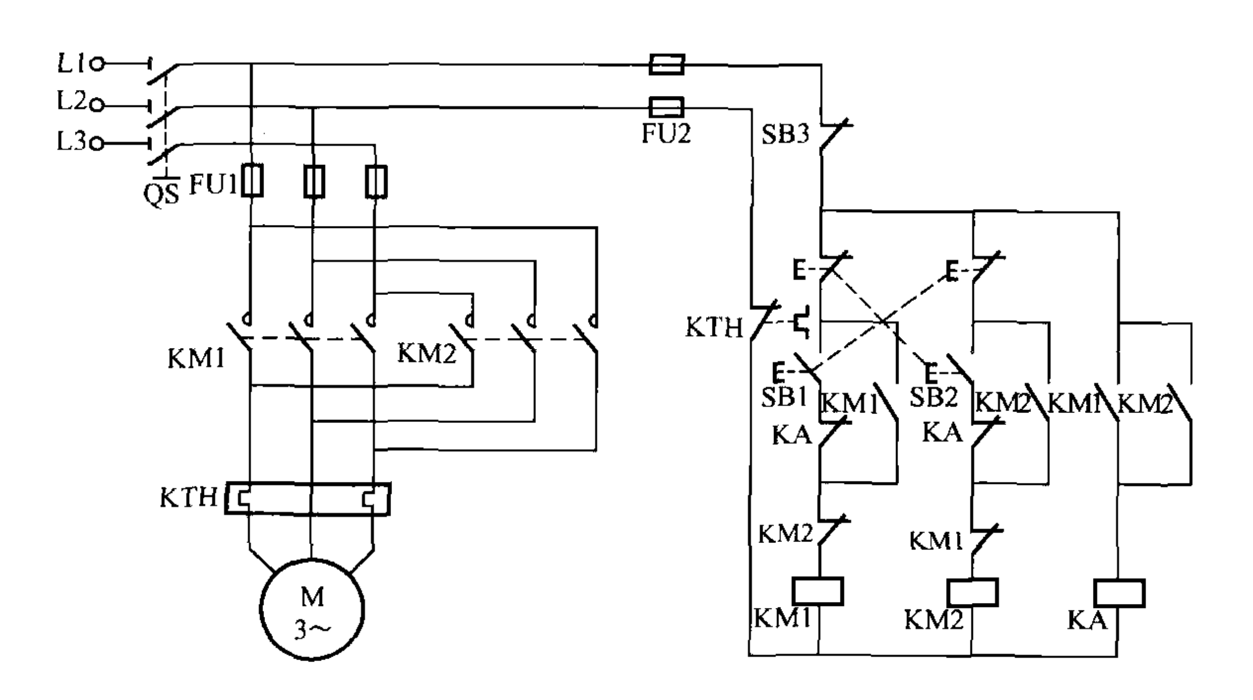


图 2-18　带中间继电器的可逆运行控制线路

例 2-19　用转换开关预选转向的可逆运行控制线路

图 2-19 所示即为用转换开关预选转向的可逆运行控制线路。该线路中加装了一只转换开关，使其能方便灵活地改变电动机的旋转方向。从图中可以看出，利用转换开关 QC 先选定正转或反转，然后再用按钮开关 SB1、SB2 来控制电动机的起动和停止。

例 2-20　电动机低速脉动运行控制线路

图 2-20 所示为电动机在低速脉动运行的控制线路。该线路

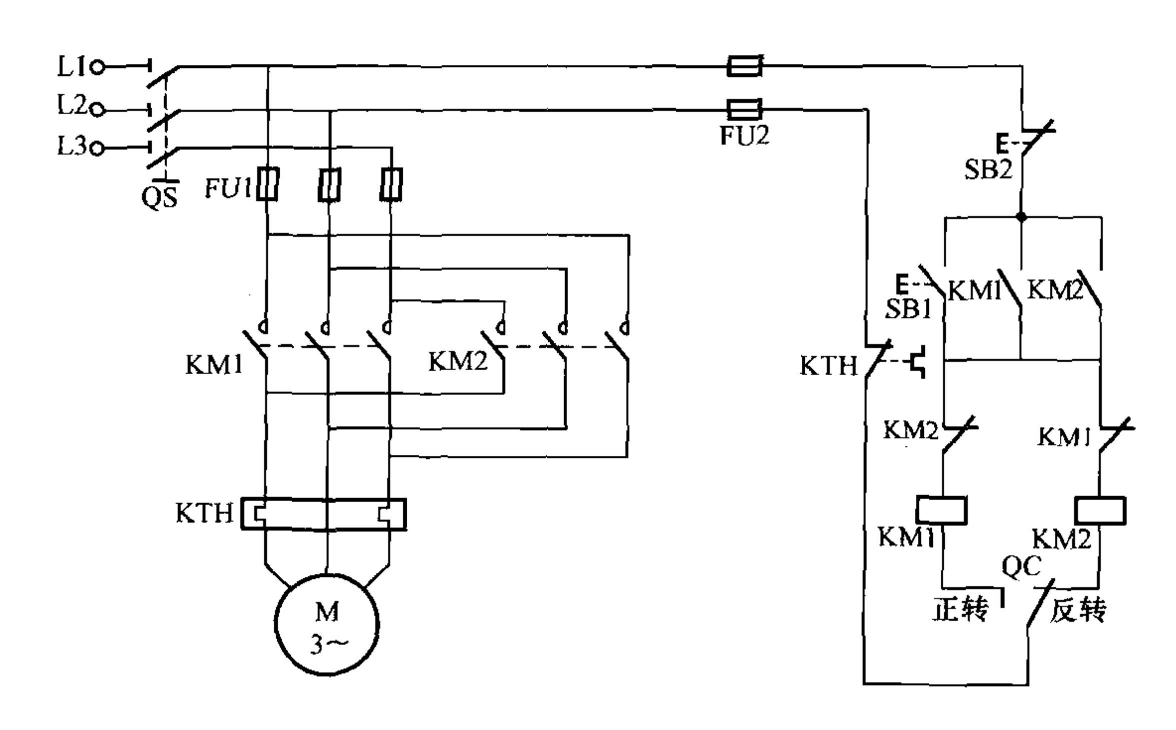


图 2-19　用转换开关预选转向的可逆运行控制线路

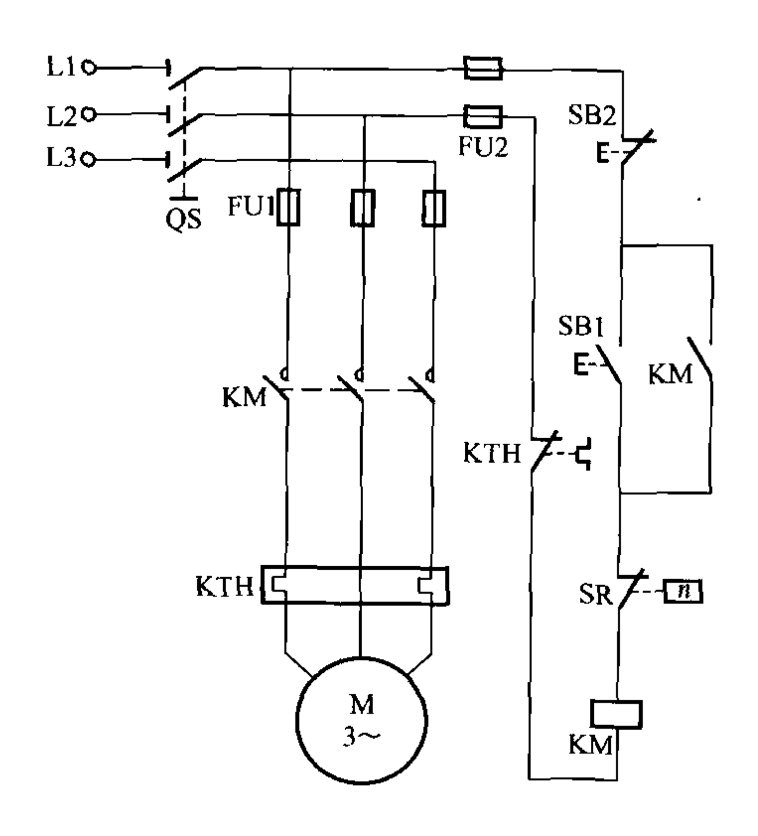


图 2-20　电动机低速脉动运行控制线路

通常用于机床设备的变速、对刀等。

例 2-21　防止相间短路的可逆运行控制线路

图 2-21 所示即为一种能防止相间短路的可逆运行控制线路。

电动机在进行正、反转换接时，有时因容量较大或操作不当等原因，至使接触器 KM 主触点电弧尚未完全熄灭，或主触点粘结未断开，此时若起动反转的接触器则必将引起相间短路。本线路则可防止这类相间短路故障的发生。

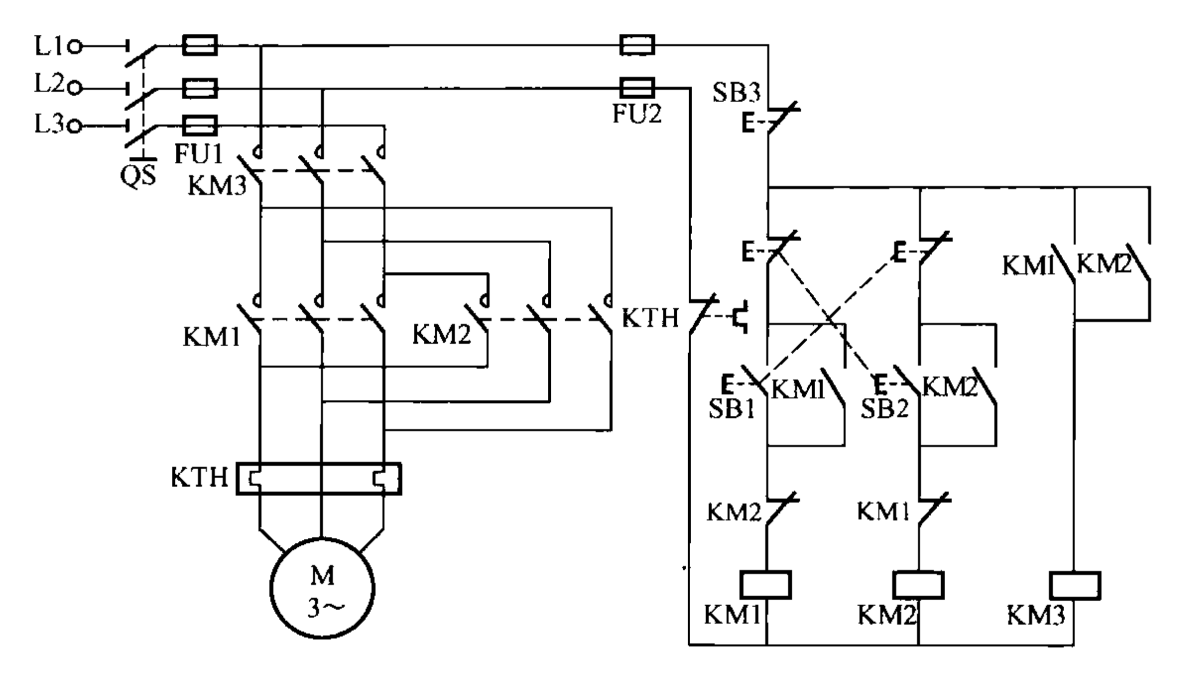


图 2-21　防止相间短路的可逆运行控制线路

例 2-22　用接近开关作自动停止的可逆运行控制线路

图 2-22所示即为用接近开关作自动停止的可逆运行控制线

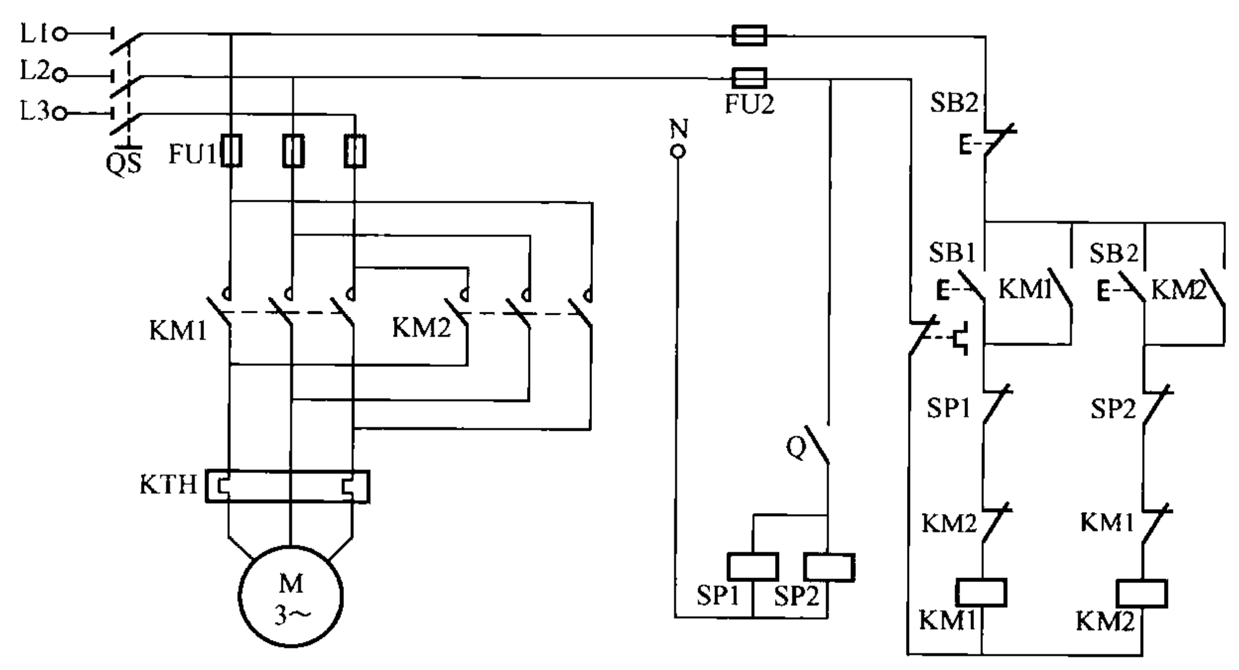


图 2-22　用接近开关作自动停止的可逆运行控制线路

路。该线路采用了新型无触点晶体管接近开关，工作时它只须将一块可移动的金属片接近到规定位置，则接近开关内的触点就会动作而接通控制电路。因而它比机械触撞式行程开关更可靠和寿命长。

例 2-23　用行程开关作自动停止的可逆运行控制线路

图 2-23 所示即为用行程开关作自动停止的可逆运行控制线路。该线路利用运动的机械带动撞块碰撞行程开关 ST1、ST2，以进行对电动机的正、反转控制。此线路可应用于需要上下、左右、进退移动，并能在预定点自动停止的各种生产机械设备中。

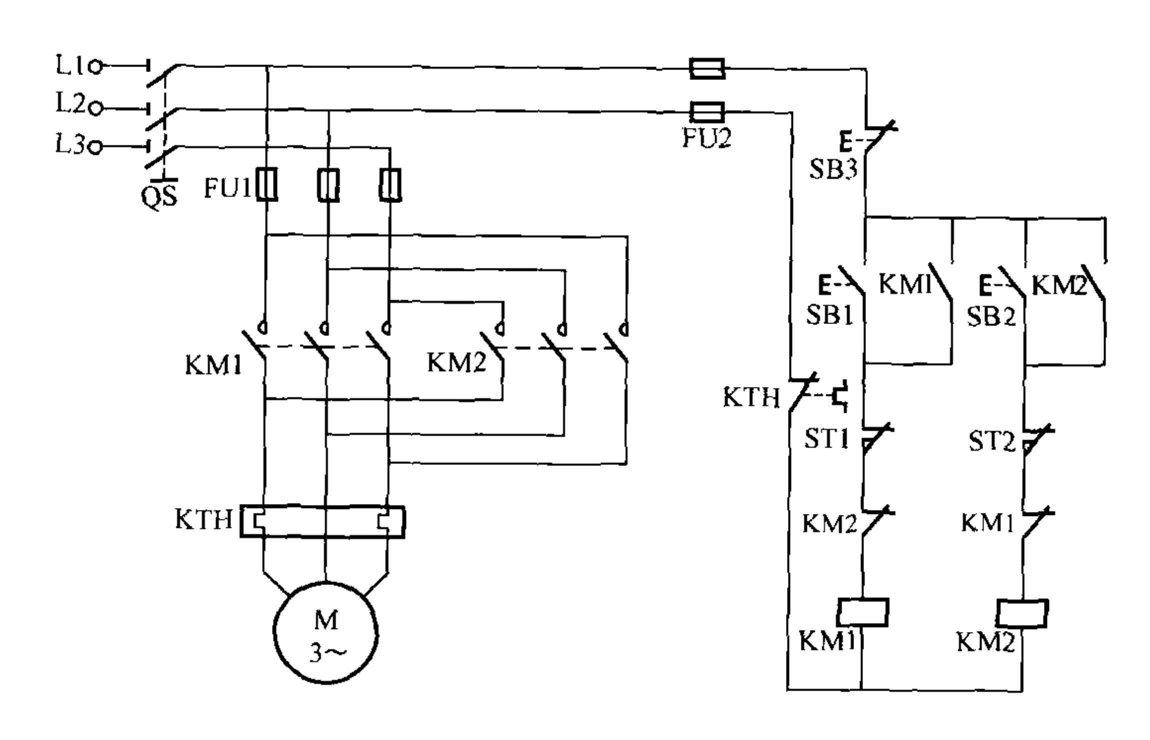


图 2-23　用行程开关作自动停止的可逆运行控制线路

例 2-24　自动限时可逆运行控制线路

图 2-24 所示即为自动限时可逆运行控制线路。该线路是在电动机预先设定的时间范围内，进行连续可逆运行的控制线路。线路主要由时间继电器 KT1、KT2，中间继电器 KA1、KA2 和接触器 KM1、KM2 组成。它适用于自动可逆运行生产。

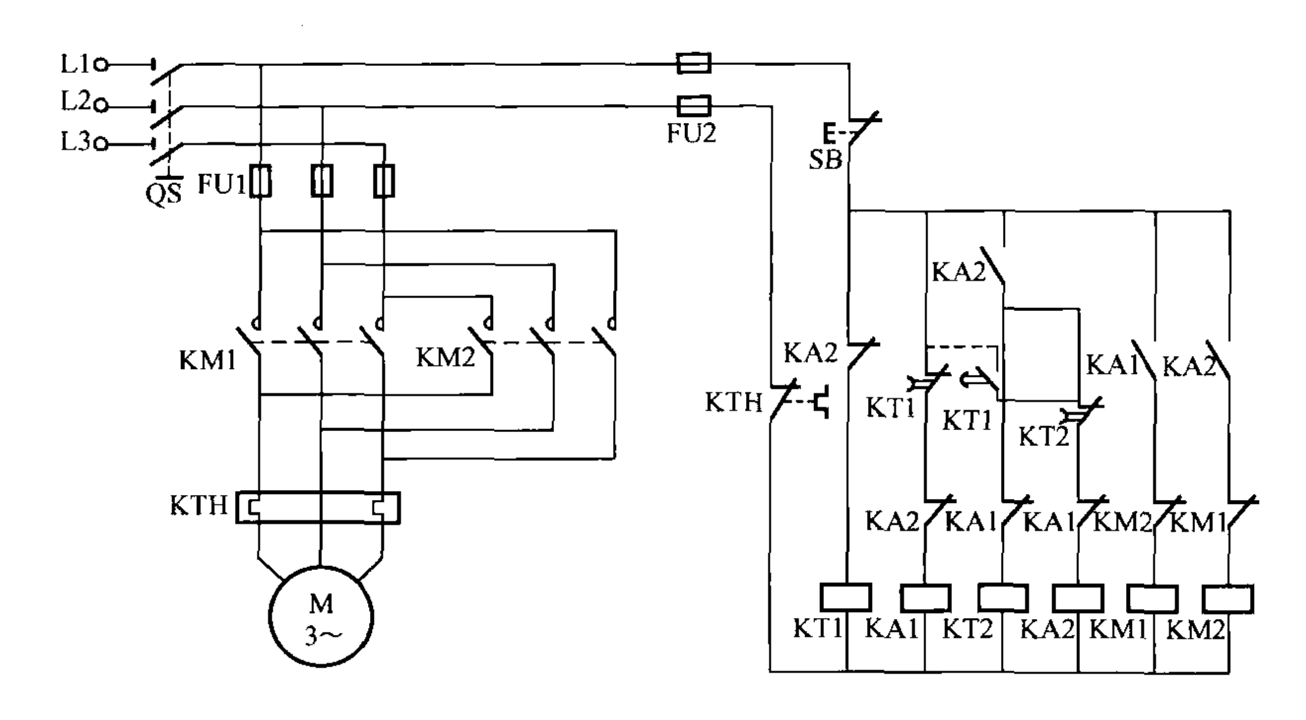


图 2-24 自动限时可逆运行控制线路

例 2-25 晶体管时间继电器自动限时可逆运行控制线路

图 2-25 所示为晶体管时间继电器自动限时可逆运行控制线路。该线路采用了 JJSBI 脉动型晶体管时间继电器，它的执行触点能够按两种时间规律来作往复动作，利用这一特点就能控制电动机在两种规定时间作可逆运行。

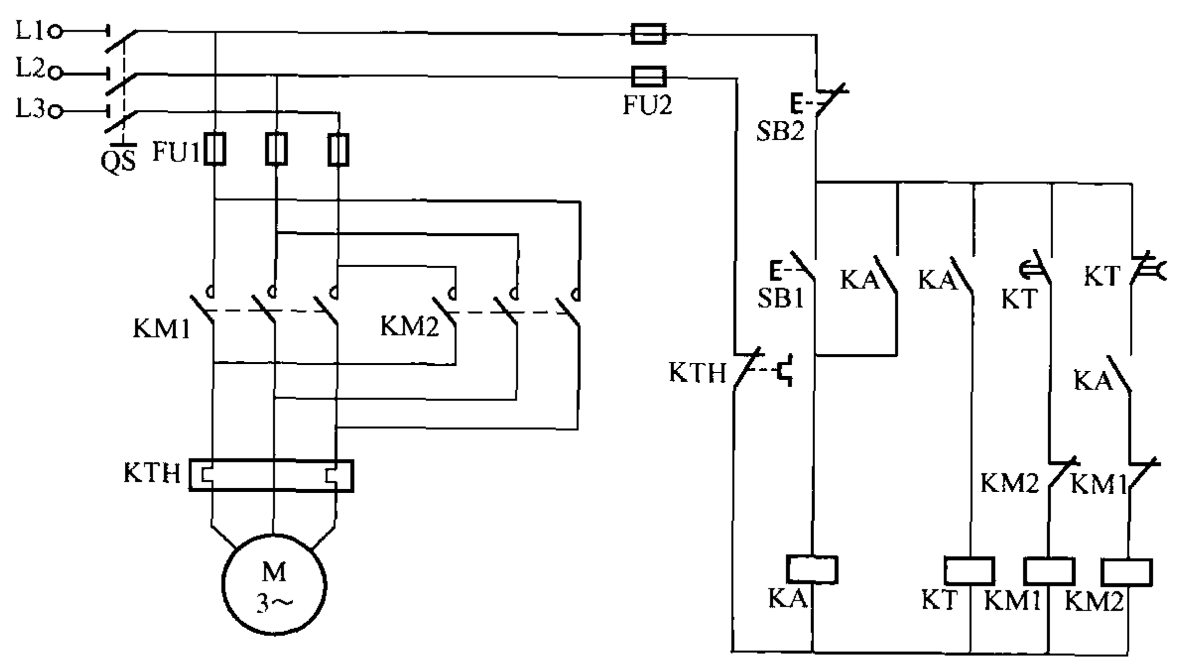


图 2-25 晶体管时间继电器自动限时可逆运行控制线路

例 2-26　用行程开关装置的自动往返控制线路

图 2-26 所示即为用行程开关装置的自动往返控制线路。从图中可以看出，该线路在每次起动后都能自动往返运行，因而是一种能可逆运行的自动控制线路。它工作时是利用生产机械传动过程的惯性，使撞块作用行程开关去控制整个线路。

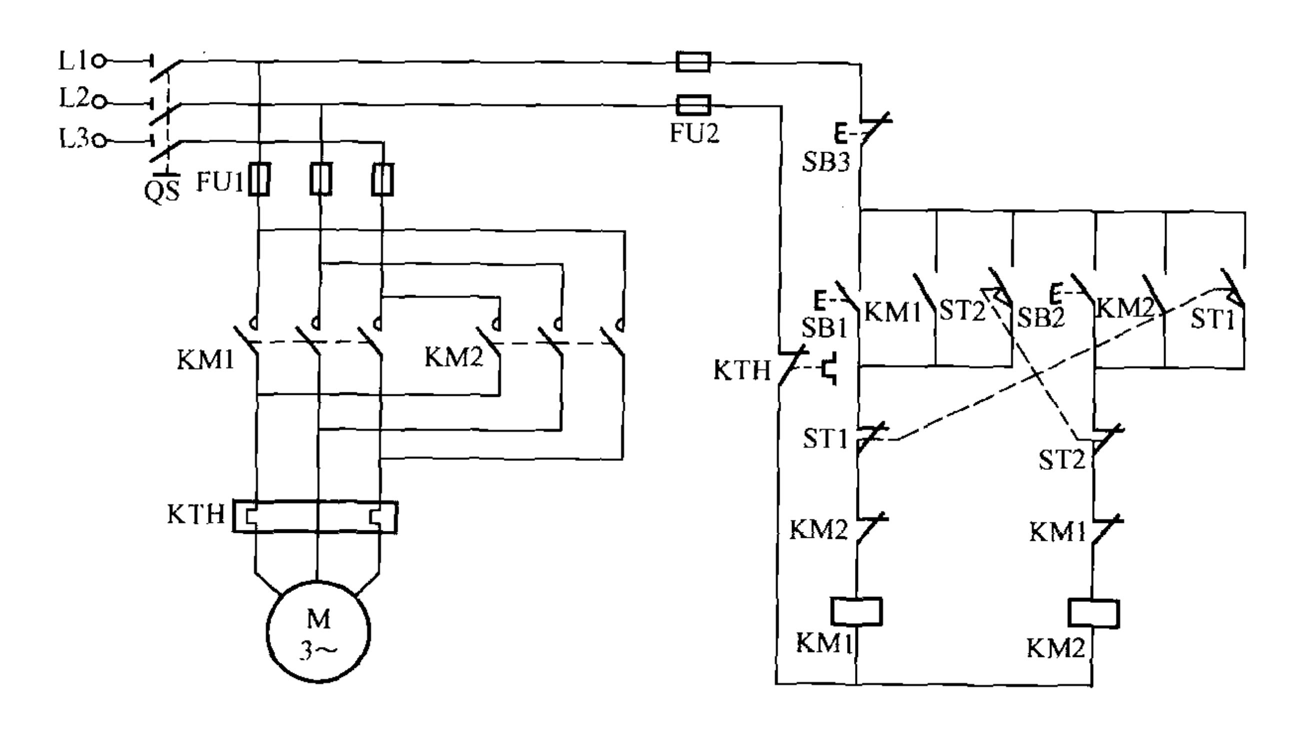


图 2-26　用行程开关装置的自动往返控制线路

例 2-27　带点动的自动往返控制线路

图 2-27 所示即为带点动的自动往返控制线路。该线路在自动往返控制的基础上增加了一个点动断续运行部分，以方便工作时进行调试。此线路是一种装有点动装置的全自动可逆运行控制线路，它适用于需要断续和连续运行的机械设备。

例 2-28　按先后次序起动同期运行的控制线路

图 2-28 所示即为按先后次序起动同期运行的控制线路。该线路能使两台电动机中的一台先行起动，然后另一台再接起动并保持两台电动机同期运行的接法。它是通过串接在接触器 KM2 中的常开辅助触点 KM1 来实现这一控制的。

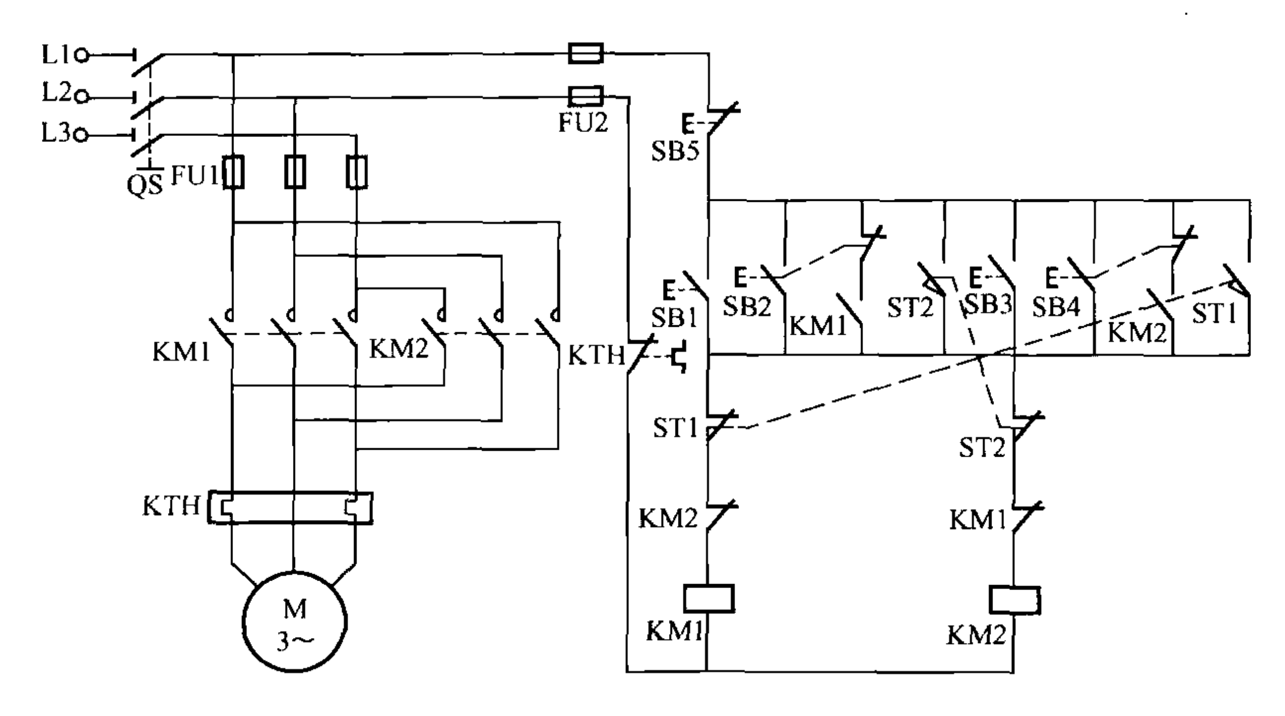


图 2-27　带点动的自动往返控制线路

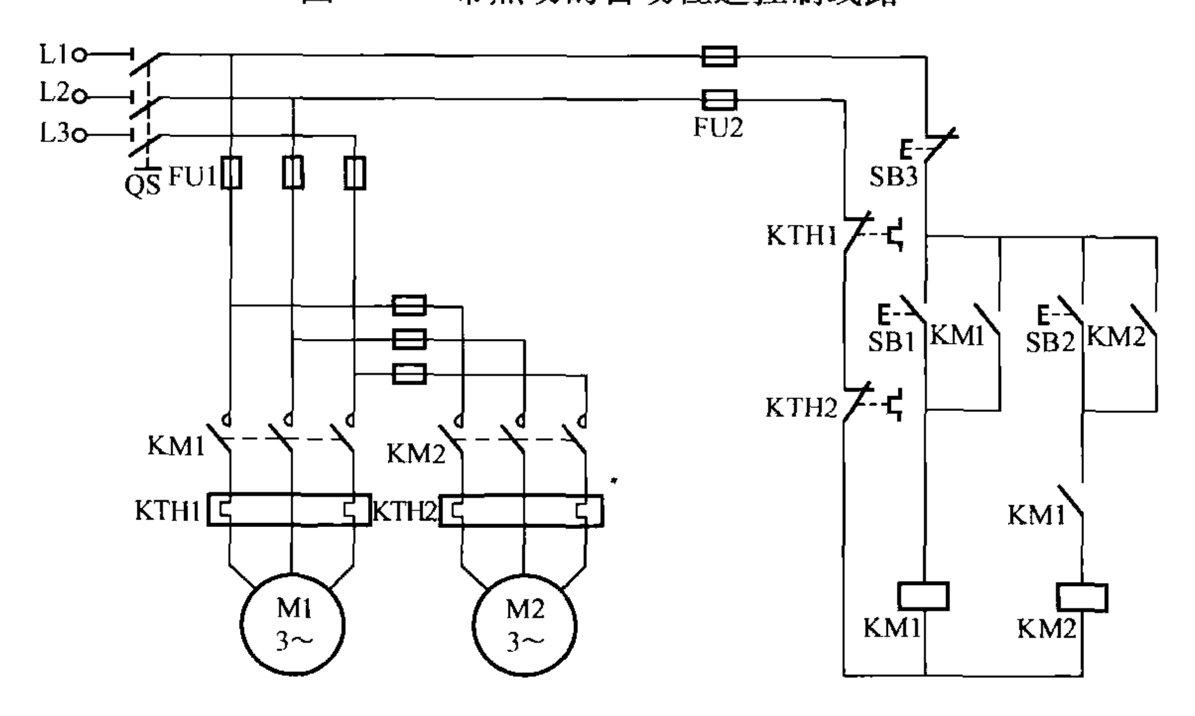


图 2-28　按先后次序起动同期运行的控制线路

例 2-29　按顺序起动同期运行的控制线路

图 2-29 所示即为按顺序起动同期运行的控制线路。有时在生产过程中，常要求辅助电动机应在主电动机之前先起动。并且只有在主电动机停止运行后，辅助电动机才能停下来。此线路就适用于这种对主、辅电动机的控制要求。

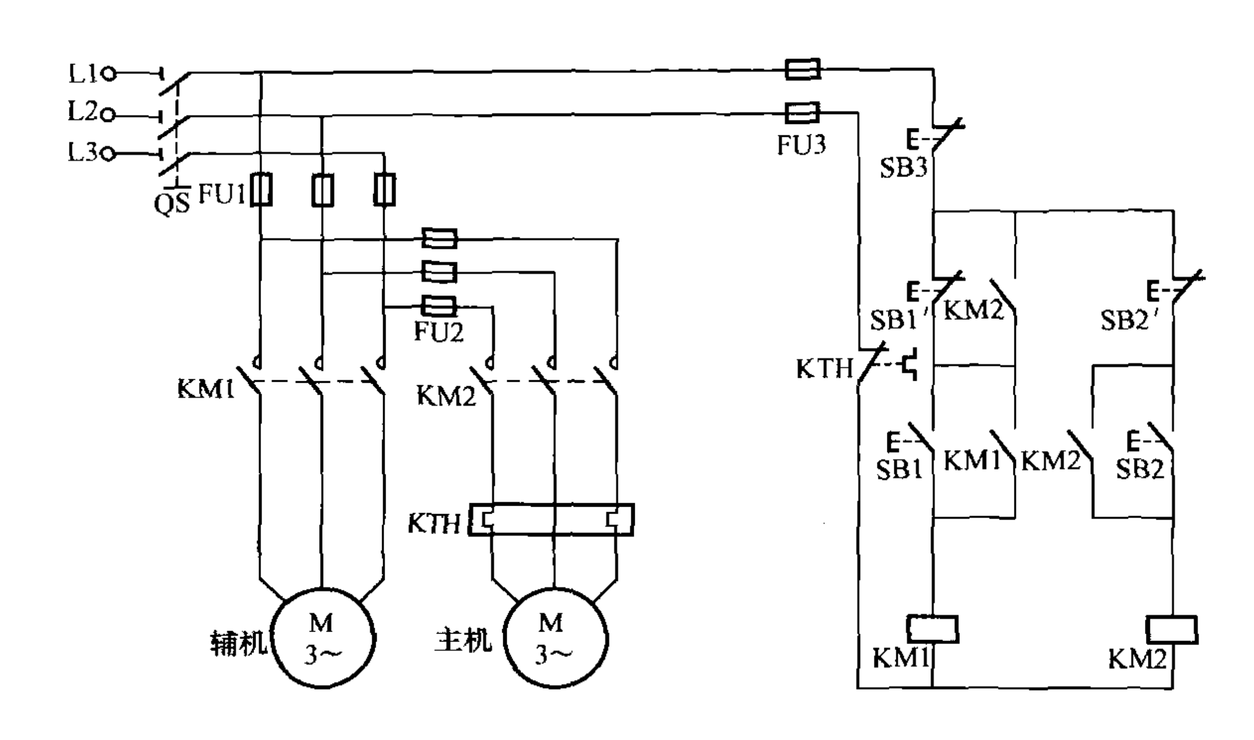


图 2-29　按顺序起动同期运行的控制线路

例 2-30　控制电路按顺序起动逆序停止的控制线路

图 2-30 所示即为一种控制电路按顺序起动逆序停止的控制线路。该线路是在 SB1 常闭触点两端并接了接触器 KM2 的常开辅助触点，因而就实现了只有在电动机 M1 起动后，电动机 M2

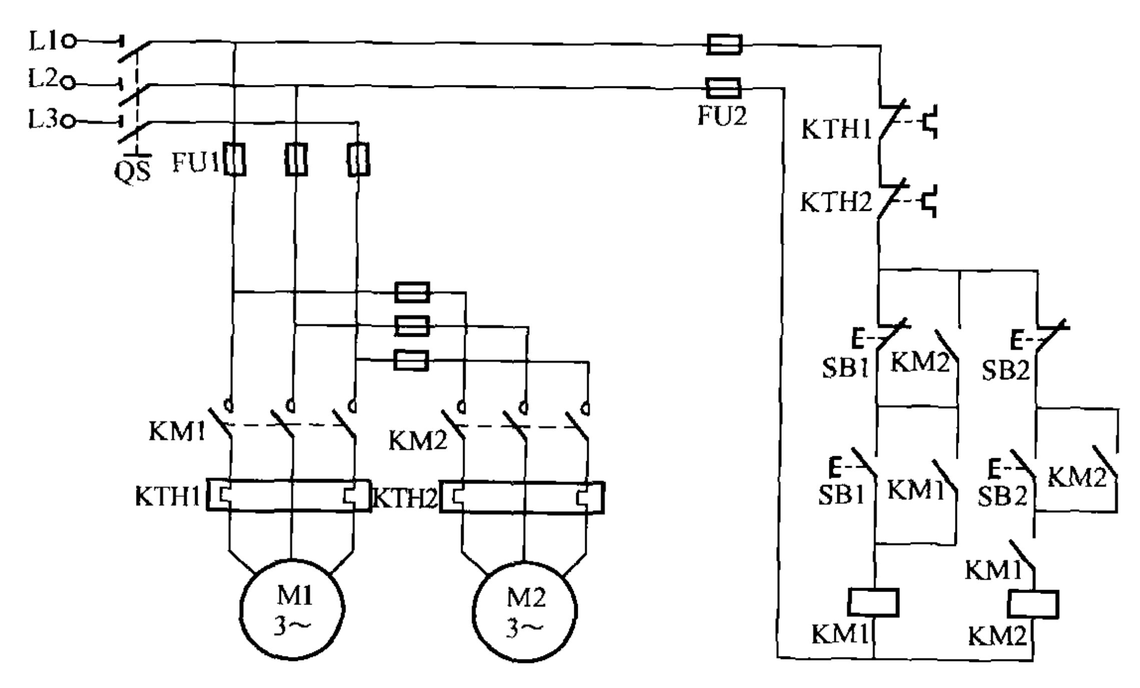


图 2-30　控制电路按顺序起动逆序停止的控制线路

才能起动。而在 M2 停止后 M1 才能停止，即电动机 M1、M2 按顺序起动而按逆序停止。

例 2-31　主电路按顺序起动的控制线路

图 2-31 所示即为主电路按顺序起动的控制线路。该线路中的电动机 M1 和 M2 分别通过接触器 KM1 与 KM2 来控制，接触器 KM2 的主触点接在 KM1 的主触点下方，这样就能确保只有在 KM1 的主触点闭合后，电动机 M2 才能接通电源而运转。

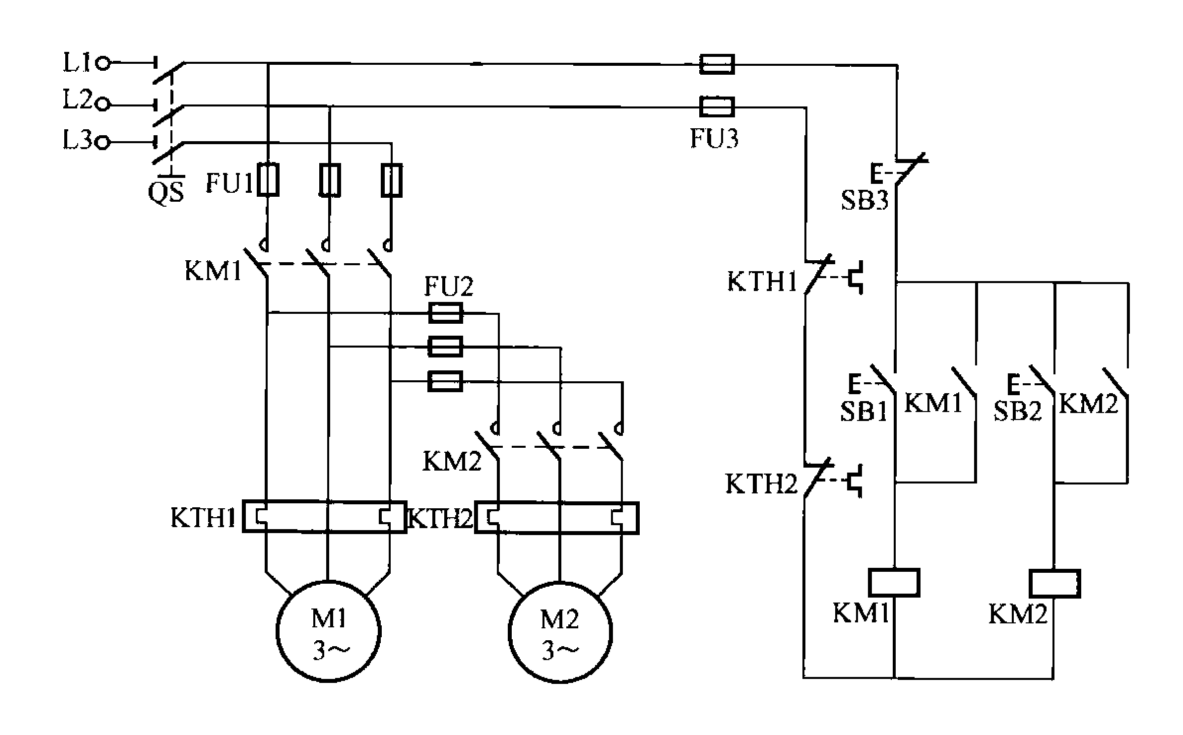


图 2-31　主电路按顺序起动的控制线路

例 2-32　另一种控制电路按顺序起动的控制线路

图 2-32 所示即为另一种控制电路按顺序起动的控制线路。该线路的特点则是在电动机 M2 的控制电路中串接了接触器 KM1 的常开辅助触点，这样就使得只有在电动机 M1 起动以后，电动机 M2 才能起动，从而保证了按顺序起动的要求。

例 2-33　两台电动机同时起动单台运行控制线路

图 2-33 所示为两台电动机同时起动单台运行的控制线路。

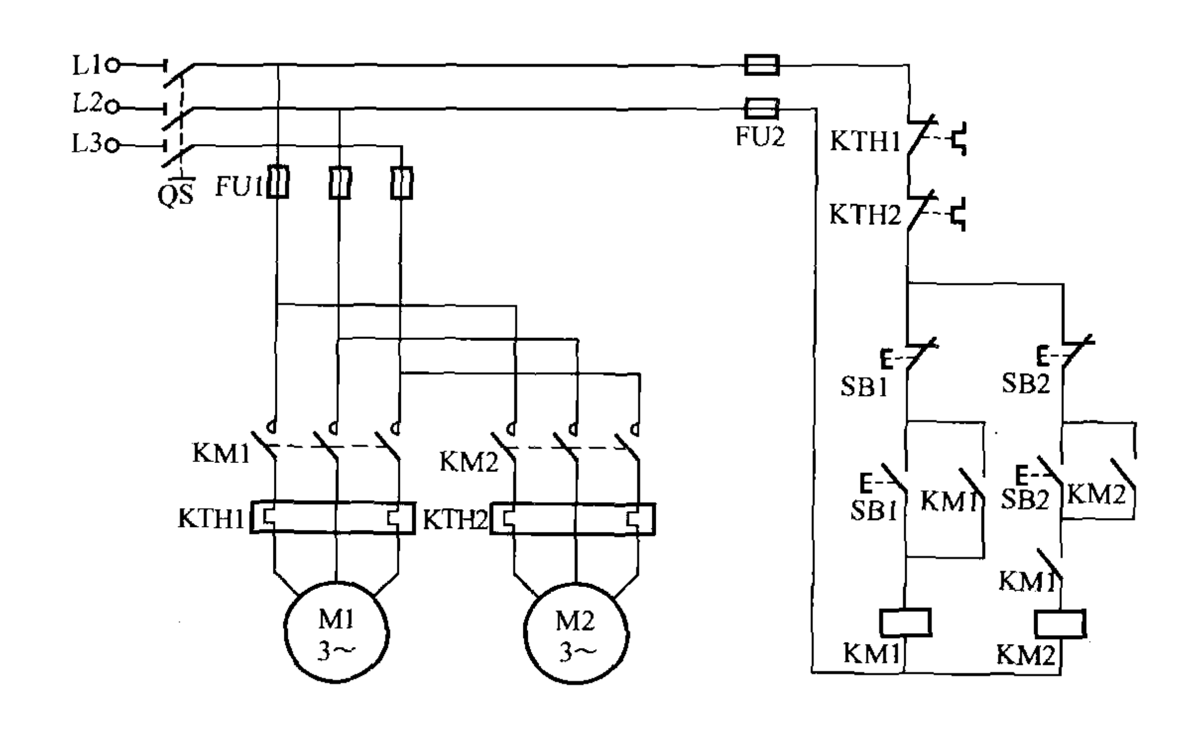


图 2-32　另一种控制电路按顺序起动的控制线路

该线路是能够同时起动两台电动机，待运行一段时间后可视需要停下任意一台电动机，而只留下其中一台继续运行。此时的操作采取手动控制，当按下起动按钮 SB1 时，两台电动机即能同时起动。停止时，分别按下停止按钮 SB2、SB3 就能使电动机停下来。

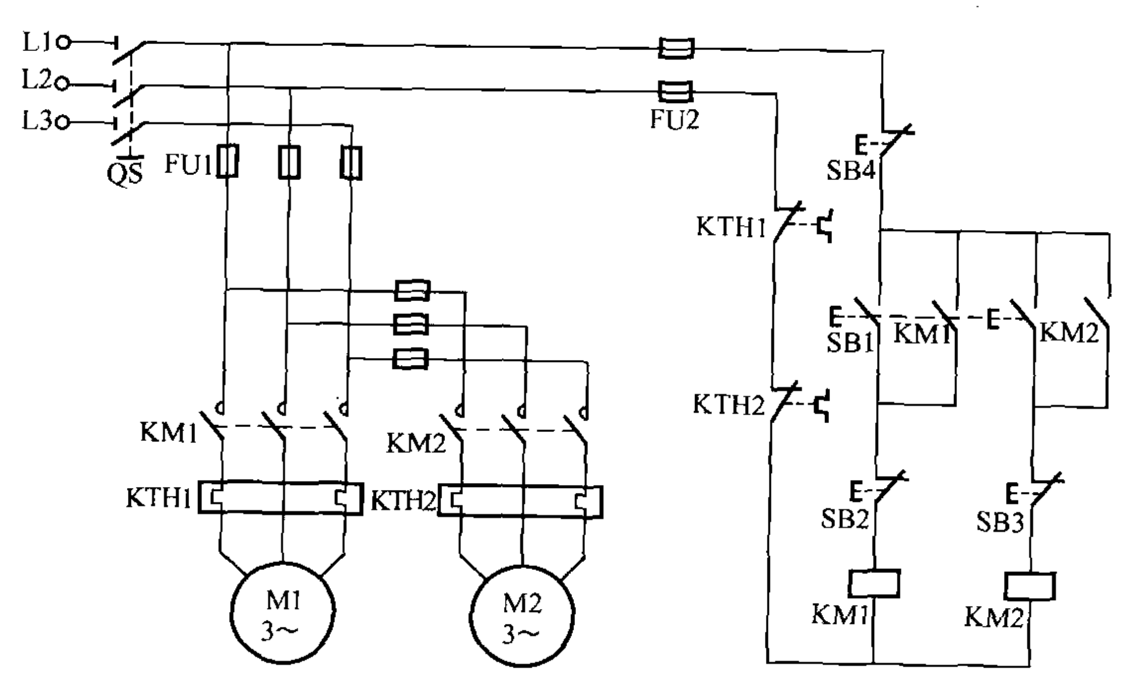


图 2-33　两台电动机同时起动单台运行控制线路

例 2-34　两台电动机同时起动单台运行手动、自动控制线路

图 2-34 所示即为两台电动机同时起动单台运行手动、自动控制线路。该线路能够使两台电动机同时起动，待运行一段时间后其中的一台电动机自动停下来，而另一台则仍继续运行。线路中的转换开关 QC 若拨到手动位置时即作手动控制，拨到自动位置时即作自动控制。

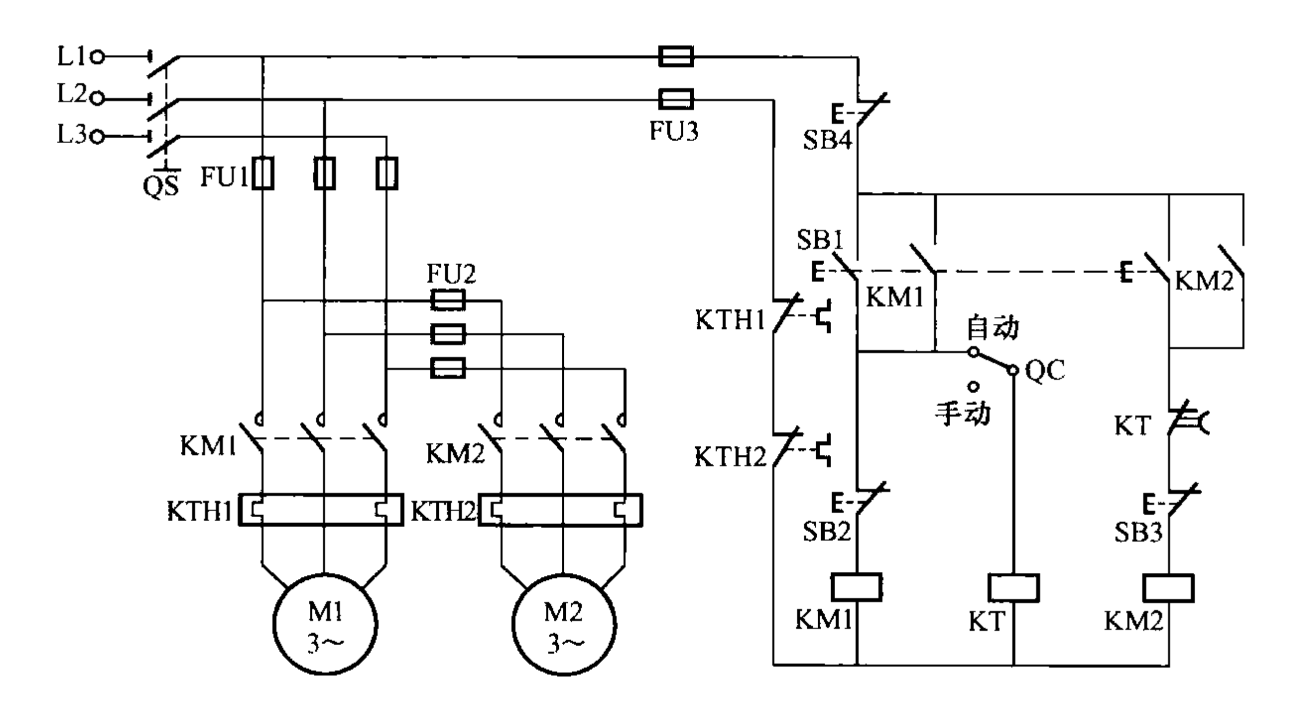


图 2-34　两台电动机同时起动单台运行手动、自动控制线路

例 2-35　两台电动机先后起动同时运行手动、自动控制线路

图 2-35 所示即为两台电动机先后起动同时运行手动、自动控制线路。该线路是一种能够使电动机先后起动同时运行的接法，线路是依靠转换开关 QC 来达到手动、自动控制转换的。当转换开关 QC 拨到自动位置时，按下起动按钮 SB1 后线路即自动进行工作。

例 2-36　主机停止运转后辅机才能停转的控制线路

图 2-36 所示即为主机停止运转后辅机才能停转的控制线路。

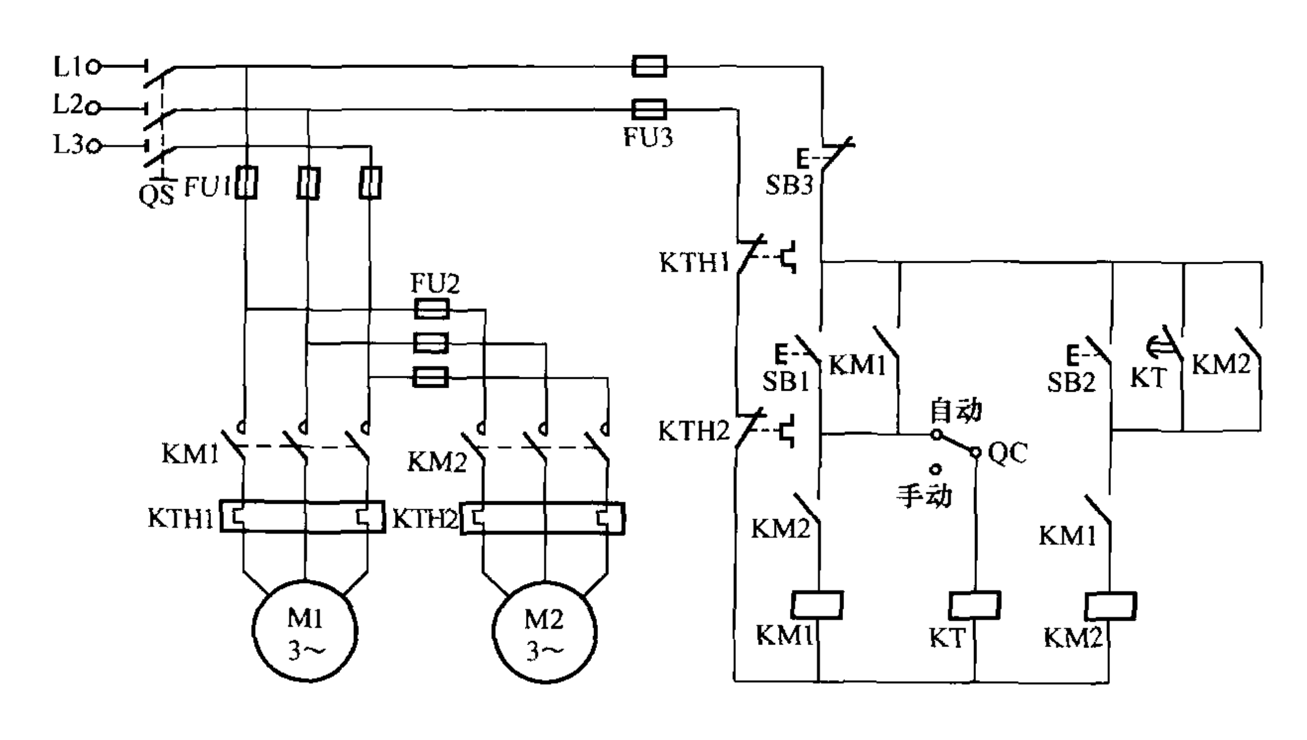


图 2-35　两台电动机先后起动同时运行手动、自动控制线路

根据一些特定工作环境的需要，有时要求在主电动机停止运转后，其辅助电动机才能停止运转。例如要求冷却用风机在主机未停转的情况下，则不得随意停止运转，这样才能保证主电动机安全正常地工作。

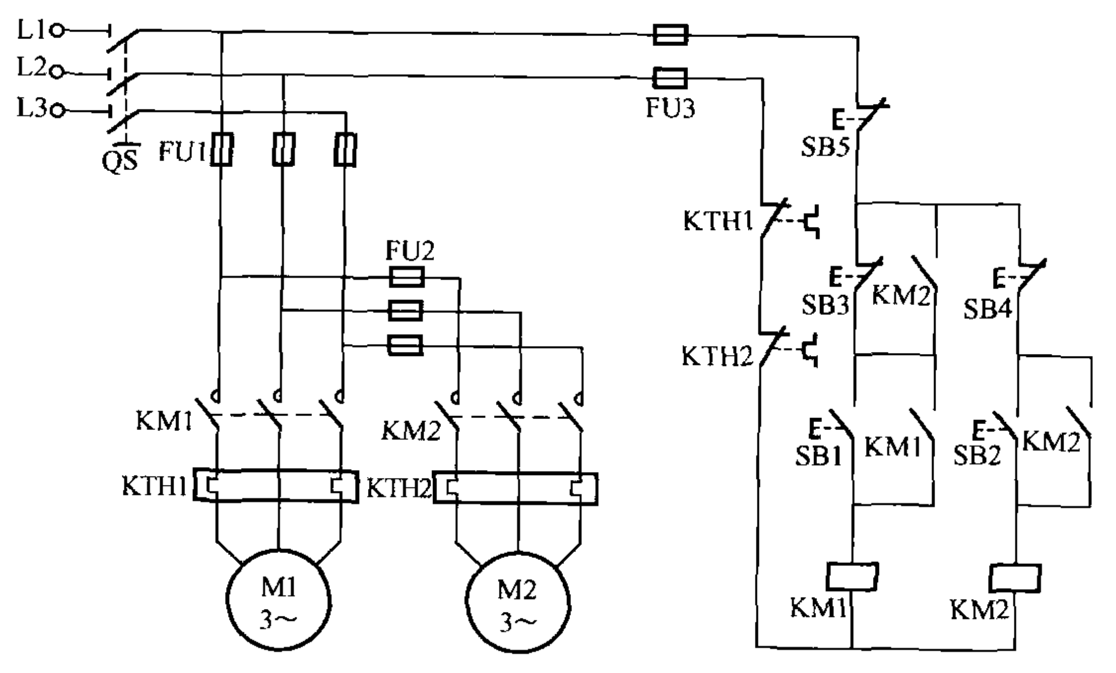


图 2-36　主机停止运转后辅机才能停转的控制线路

例 2-37　三台电动机顺序起动、逆序停止控制线路

图 2-37 所示即为三台电动机顺序起动、逆序停止的控制线路。该线路根据生产工艺流程的需要，电动机的起动顺序为 M1、M2、M3，即按顺序起动。停车顺序则为 M3、M2、M1，即为逆序停止。当 M1、M2 出现故障停车时，M3 能即时停车。三台电动机均用熔断器和热继电器作过载及短路保护，如果其中任何一台电动机出现过载故障，三台电动机都将停车。

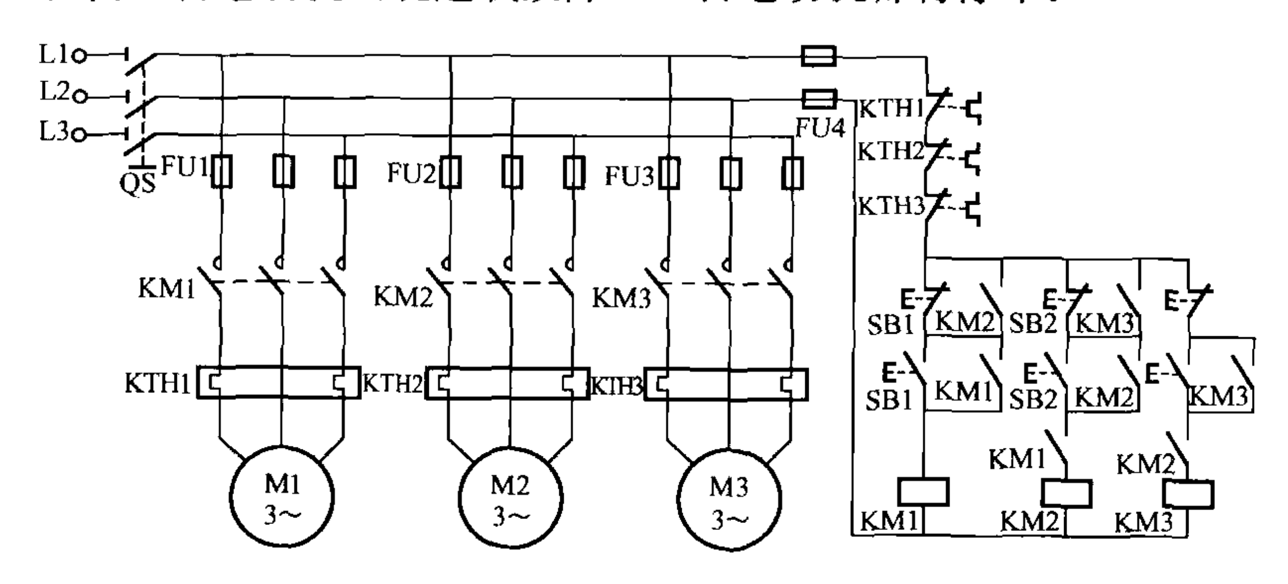


图 2-37　三台电动机顺序起动、逆序停止控制线路

例 2-38　主、辅电动机的联锁控制线路

图 2-38 所示即为主、辅电动机的联锁控制线路。该线路是钻床主轴电动机和液压电动机的联锁控制线路，不论是电路短路、过载或接触器未吸合，此线路均可使两台电动机同时运转或同时停转。转换开关 1QC、2QC 即用作主、辅电动机的控制。

例 2-39　两台电动机按顺序起动的联锁控制线路

图 2-39 所示即为两台电动机按顺序起动的联锁控制线路。在某些机械设备中，因多台电动机各自的不同作用，而必须按一定的顺序起动才能确保生产安全运行。例如机床的主轴在工作前必须先起动油泵电动机，而后再起动主轴电动机。

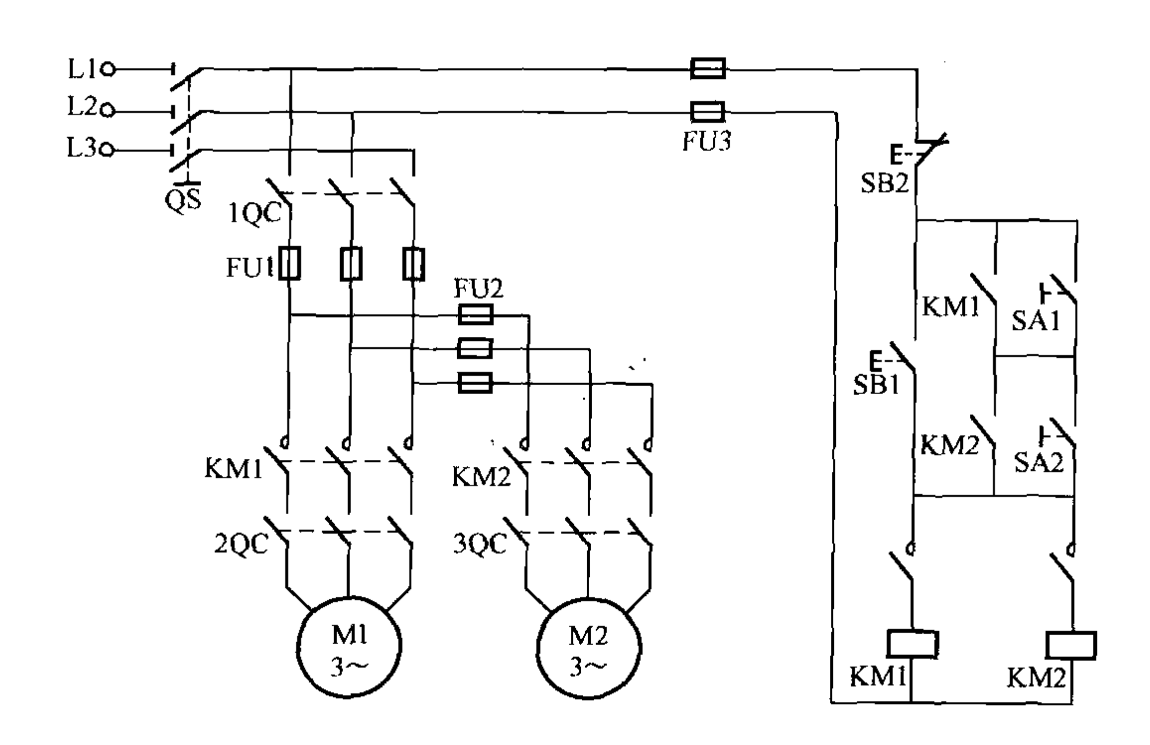


图 2-38　主、辅电动机的联锁控制线路

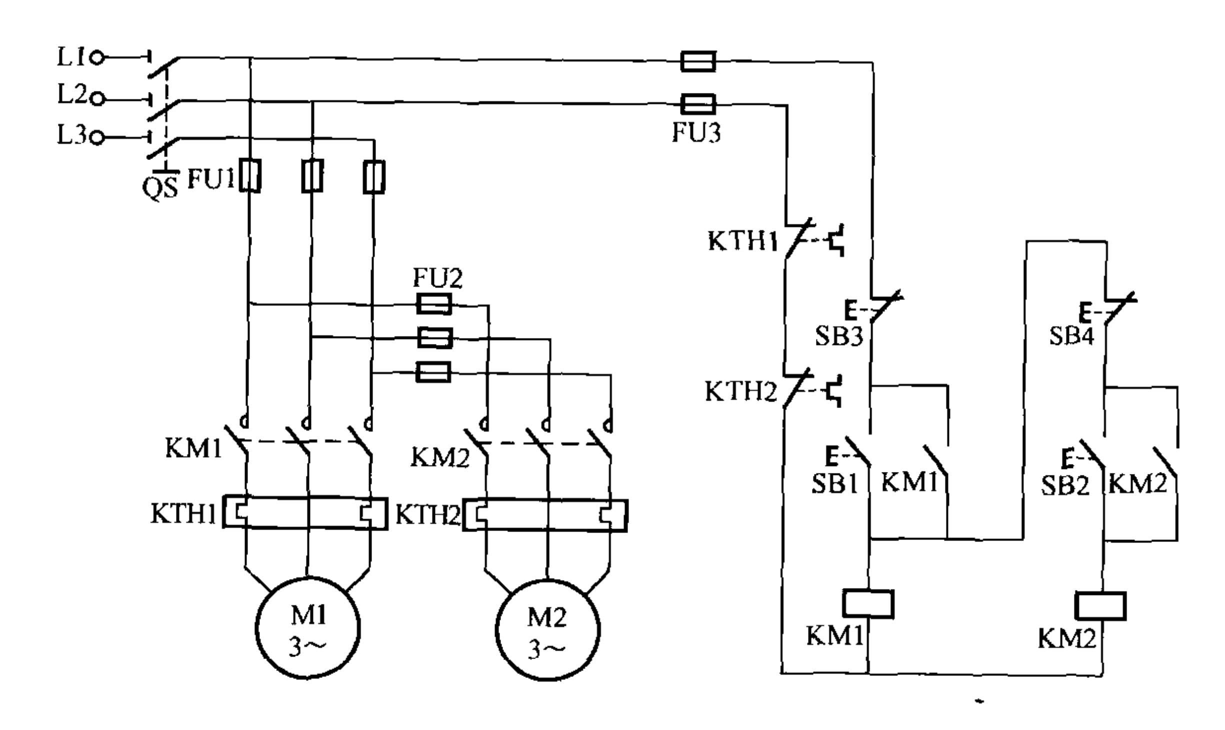


图 2-39　两台电动机按顺序起动的联锁控制线路

例 2-40　另一种两台电动机顺序起动的联锁控制线路

图 2-40 所示即为另一种两台电动机按顺序起动的联锁线路。该线路当按下起动按钮 SB1 时，接触器 KM1 通电主触点闭合而接通电动机 M1。其常开联锁触点 KM1 也同时闭合，即为电动

机 M2 的起动先期做好了准备。若出现误动作则可先按下 SB2，电动机 M2 也不会起动。

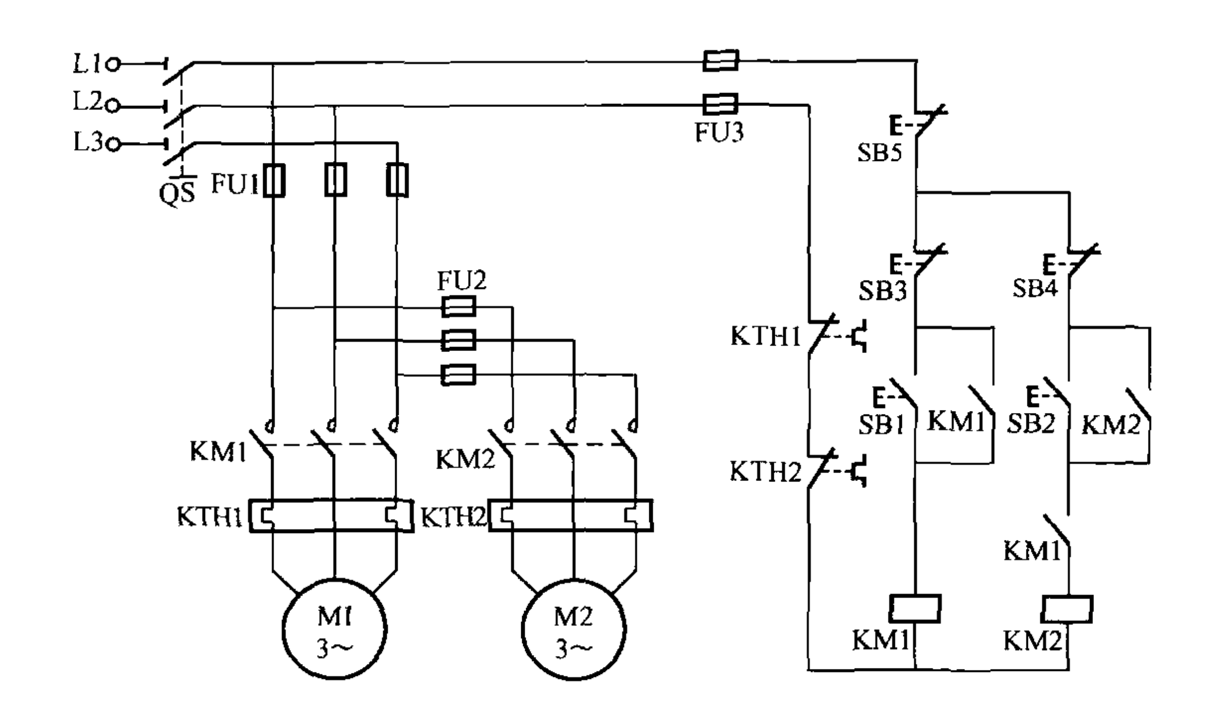


图 2-40　另一种两台电动机顺序起动的联锁控制线路

第 2 节　降压起动控制线路

容量较大的三相异步电动机均应采取降压起动方法。降压起动就是利用起动设备将电源电压适当降低后再加到电动机上进行起动的方法，起动过程结束则立即恢复到额定电压运行。常用的降压起动方法主要有以下几种：定子绕组串电阻（或电抗）降压起动、Y/△降压起动、自耦变压器降压起动、延边三角形降压起动等。

例 2-41　定子绕组串电阻降压起动按钮控制线路

图 2-41 所示即为定子绕组串电阻降压起动按钮控制线路。该线路是将电阻串接在电动机定子绕组与电源之间，通过电阻的降压作用来降低电动机定子绕组上的起动电压。而在起动过程完成后再将电阻短接，至使电动机在额定电压下正常运行。

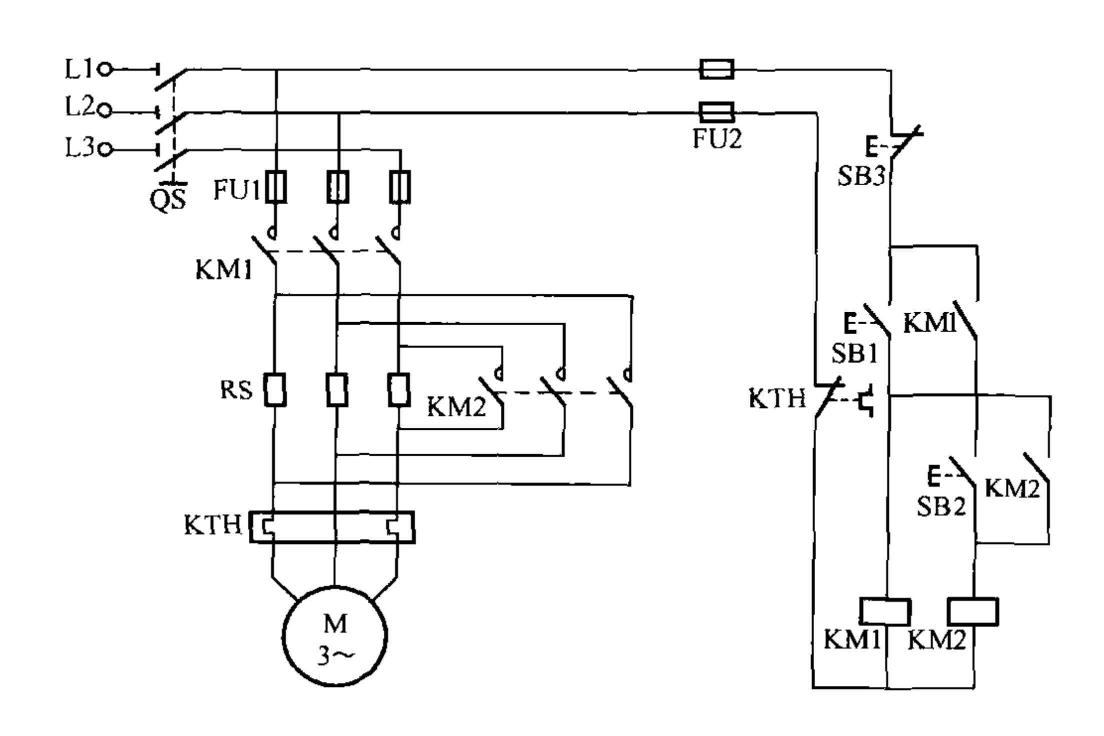


图 2-41　定子绕组串电阻降压起动按钮控制线路

例 2-42　定子绕组串电阻降压起动自动控制线路

图 2-42 所示即为定子绕组串电阻降压起动自动控制线路。它是一种由时间继电器 KT 控制电动机定子绕组串接电阻起动的自动控制线路。该线路利用 KT 的延时作用去控制接触器 KM2，适时短接起动电阻 RS，使电动机进入额定电压下的正

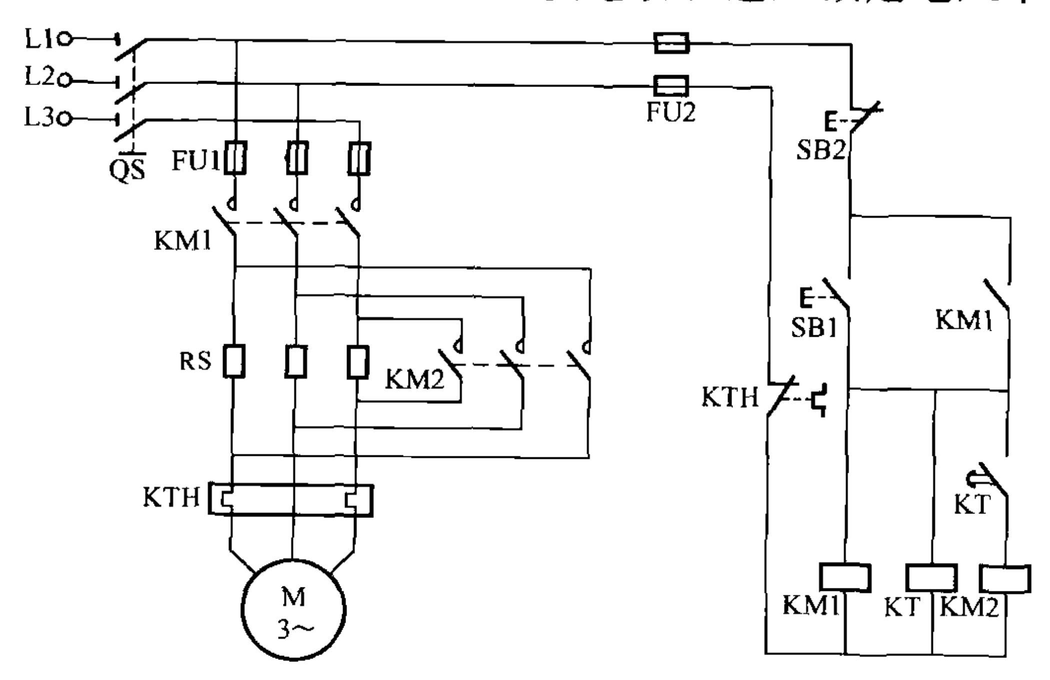


图 2-42　定子绕组串电阻降压起动自动控制线路

常运行。

例 2-43　另一种定子绕组串电阻降压起动控制线路

图 2-43 所示即为定子绕组串电阻起动的另一种时间继电器自动控制线路。该线路的主电路中接触器 KM1、KM2 的三对主触点均并接入电阻 R，这样接触器 KM1 和时间继电器 KT 都只作短时降压起动用，从而延长了 KM1 的使用寿命。

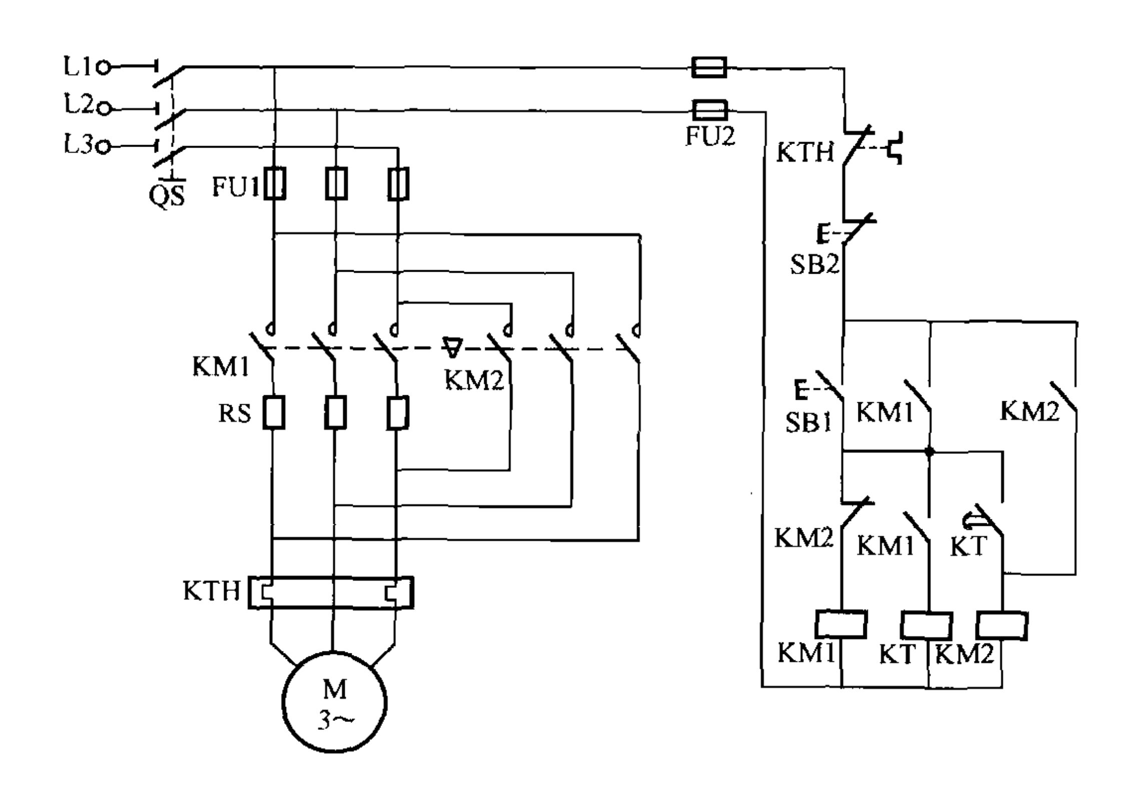


图 2-43　另一种定子绕组串电阻降压起动控制线路

例 2-44　定子绕组串电阻降压起动手动、自动控制线路

图 2-44 所示即为定子绕组降压起动手动、自动控制线路。该线路是在定子绕组中串接电阻降压，使电动机的起动既可手动又可自动进行控制。此线路主要由交流接触器 KM1、KM2、中间继电器 KA、时间继电器 KT 及转换开关 QC 组成。

例 2-45　按钮、接触器控制定子绕组串电抗起动控制线路

图 2-45 所示即为采用按钮、接触器控制定子绕组串电抗起动控制线路。该线路是在定子绕组中串入电抗器 L，起动时串入的电抗器降低了进入电动机的电源电压，因而也就降低其起动电

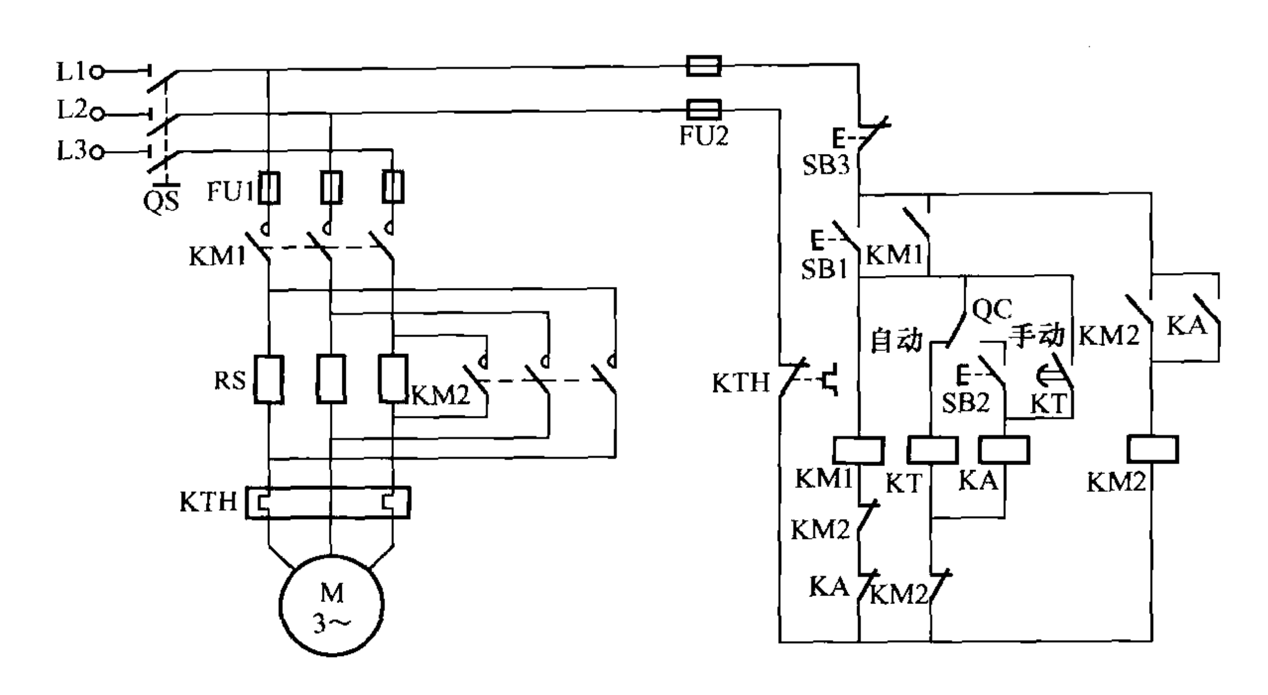


图 2-44　定子绕组串电阻降压起动手动、自动控制线路

流。待电动机转速升到接近额定转速时，将电抗器予以短接，使电动机在额定电压下稳定运行。

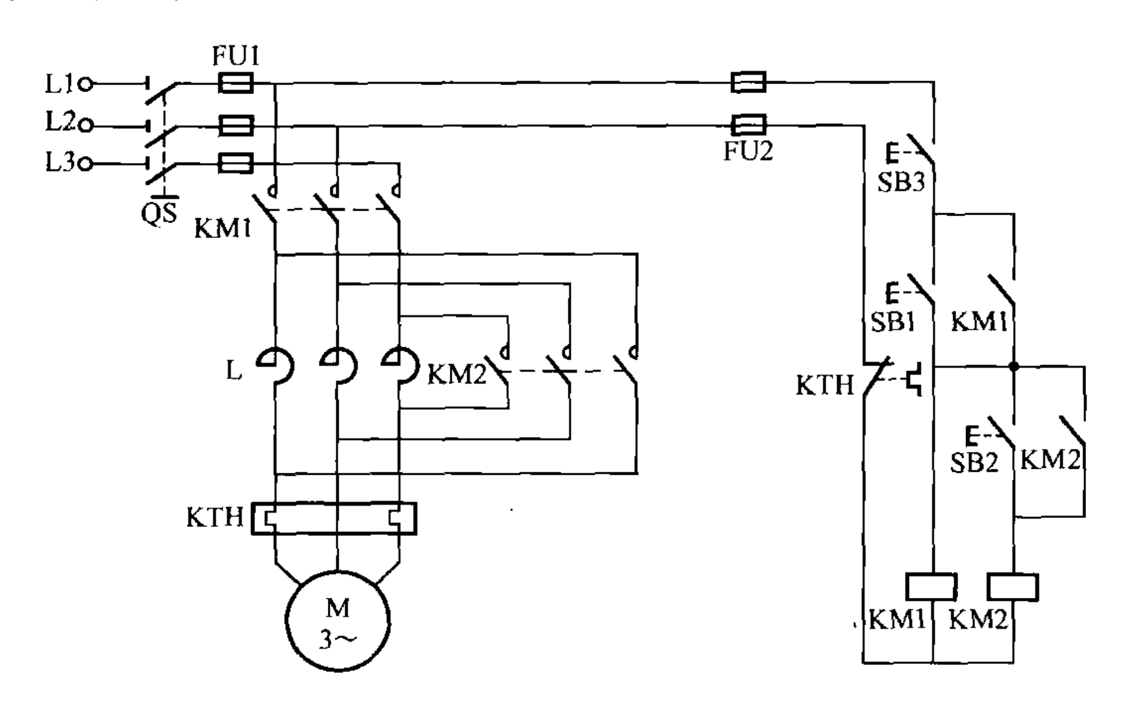


图 2-45　按钮、接触器控制定子绕组串电抗起动控制线路

例 2-46　时间继电器控制定子绕组串电抗起动控制线路

图 2-46 所示即为时间继电器控制定子绕组串电抗起动控制线路。该线路中采用时间继电器取代了图 2-45 中的按钮 SB2，

因而实现了电动机从降压起动到全压运行的自动控制。如需停止电动机运行时，只须按下停止按钮 SB2 即可。

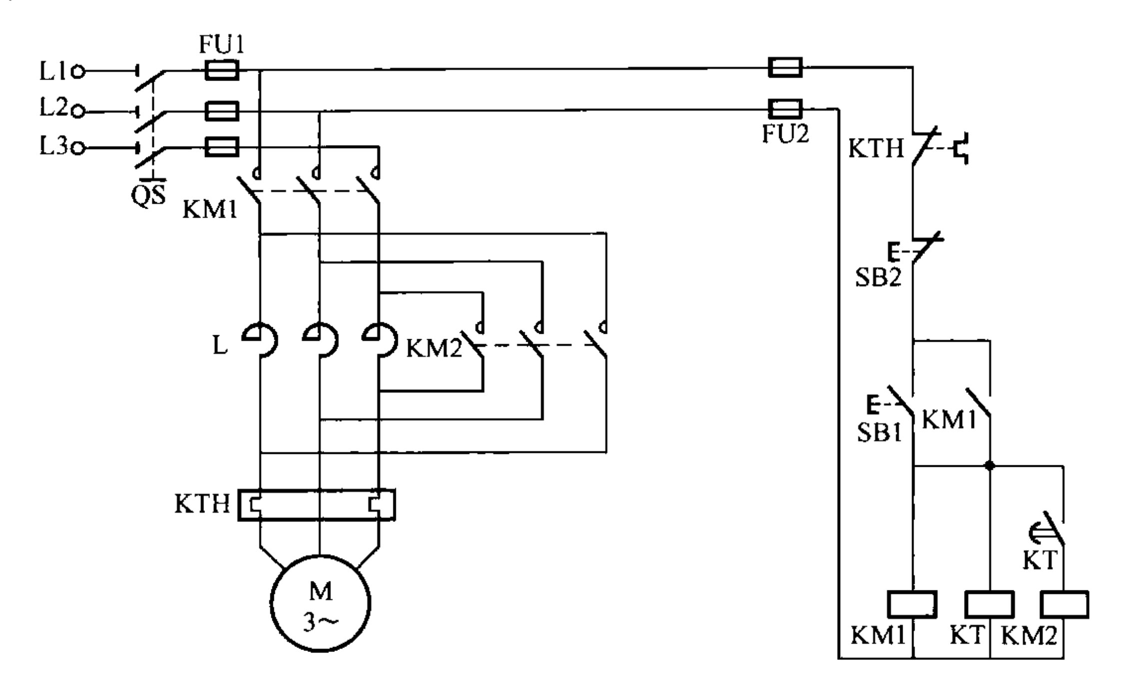


图 2-46　时间继电器控制定子绕组串电抗起动控制线路

例 2-47　另一种时间继电器控制定子绕组串电抗降压起动控制线路

图 2-47 所示即为另一种时间继电器控制定子绕组串电抗起

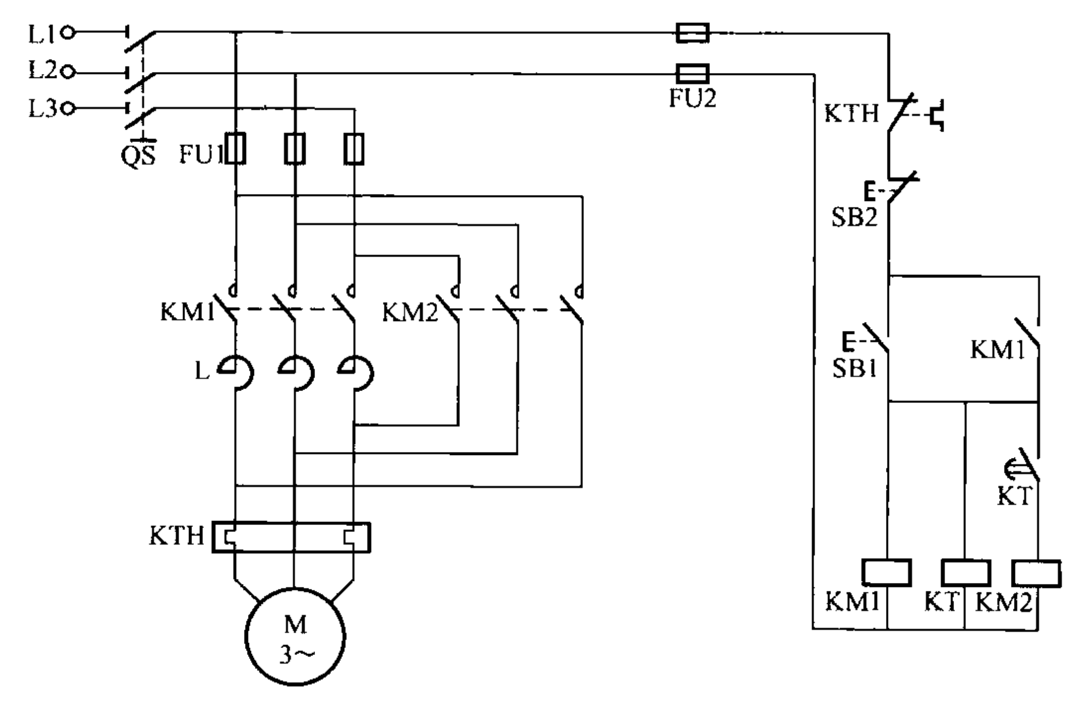


图 2-47　另一种时间继电器控制定子绕组串电抗降压起动控制线路

动控制线路。该线路中接触器 KM1、KM2 的三对主触点均并接在电抗器 L 上，这样时间继电器 KT 和接触器 KM1 均只作短时降压起动用，因而延长了整个控制线路的使用寿命。

例 2-48　定子绕组串电抗起动时间继电器控制线路

图 2-48 所示即为定子绕组串电抗起动时间继电器控制线路。该线路是采用时间继电器的自动控制线路，它实现了电动机从降压起动到全压运行的自动控制。只要调整好时间继电器的动作时间，电动机就能准确地从起动完毕后自动进入运行。

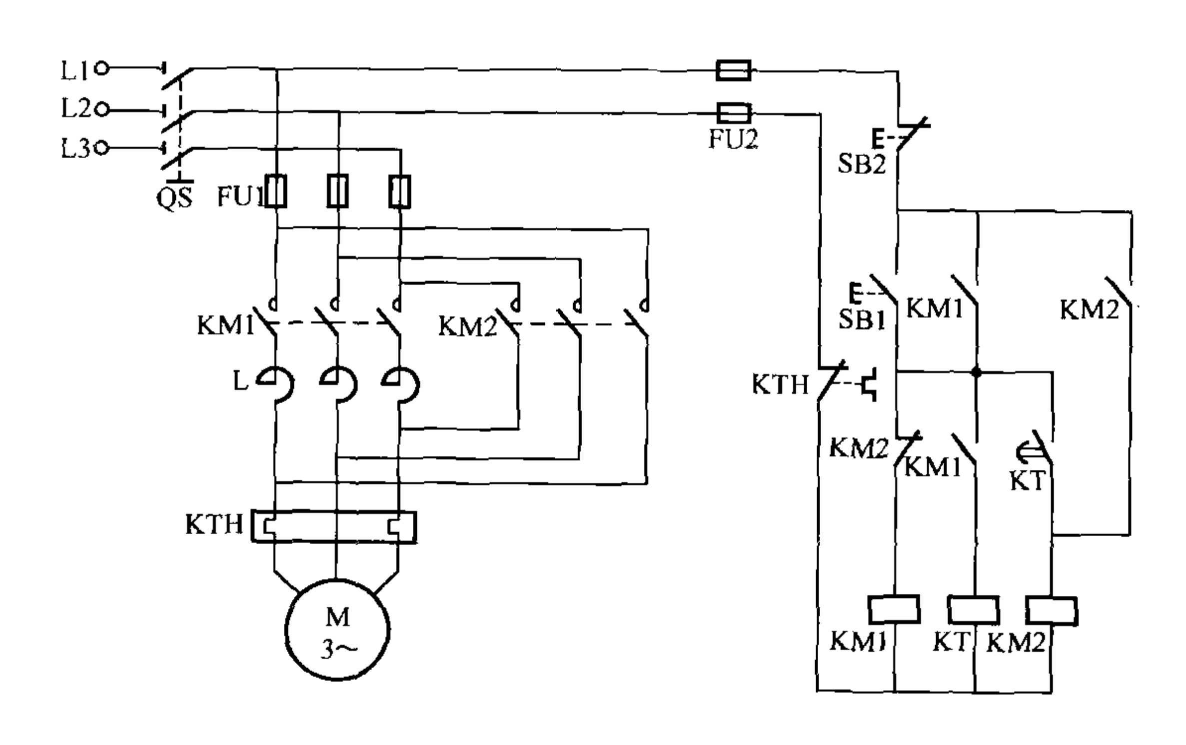


图 2-48　定子绕组串电抗起动时间继电器控制线路

例 2-49　定子绕组串电抗起动手动、自动控制线路

图 2-49 所示即为定子绕组串电抗起动手动、自动控制线路。该线路在其控制电路中增加了一只操作开关 SA 和常开按钮 SB2，当将操作开关 SA 的手柄置于图中“1”的位置时，即为手动控制，将 SA 手柄置于位置“2”时，即为自动控制。

例 2-50　按钮控制Y/△降压起动控制线路

图 2-50 所示即为按钮控制 Y/△降压起动控制线路。该线路

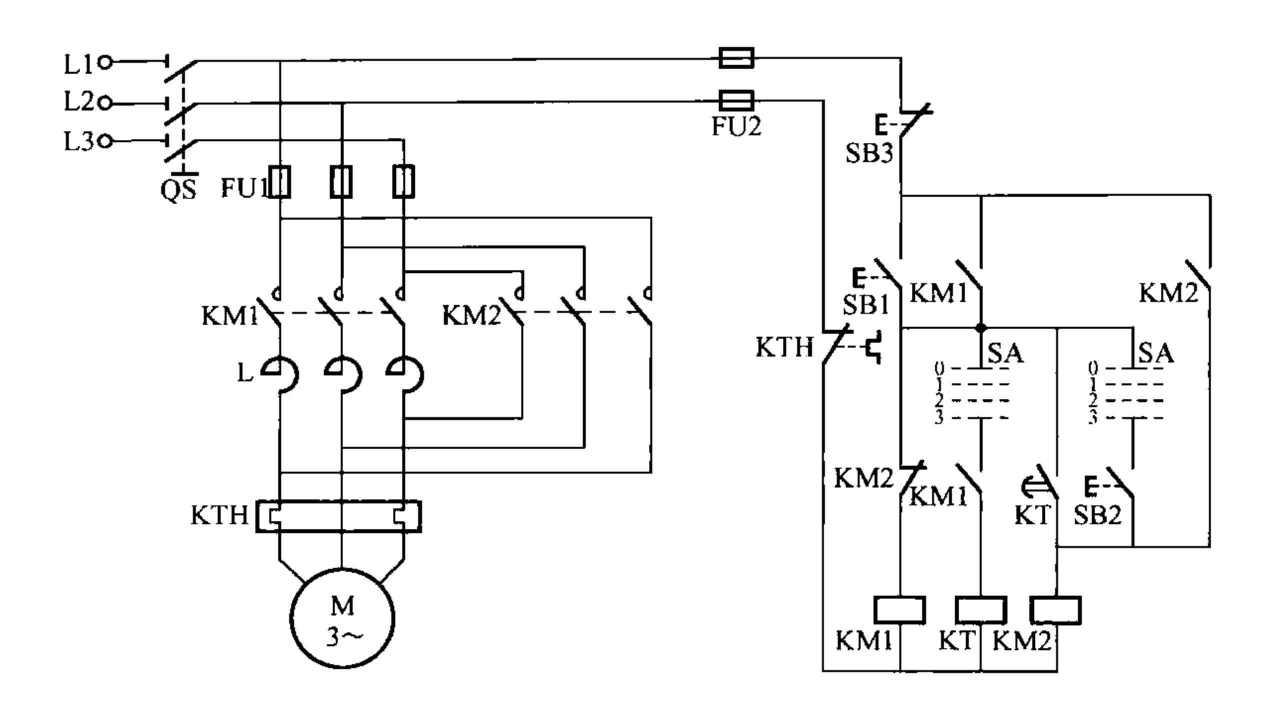


图 2-49 定子绕组串电抗起动手动、自动控制线路

可用于凡正常运行为△形接法，而容量又较大的三相异步电动机的起动。即在起动时其绕组接为星(Y)形，而电动机转速升高到接近额定转速时则改为三角(△)形接法，直到电动机进入额定运行。

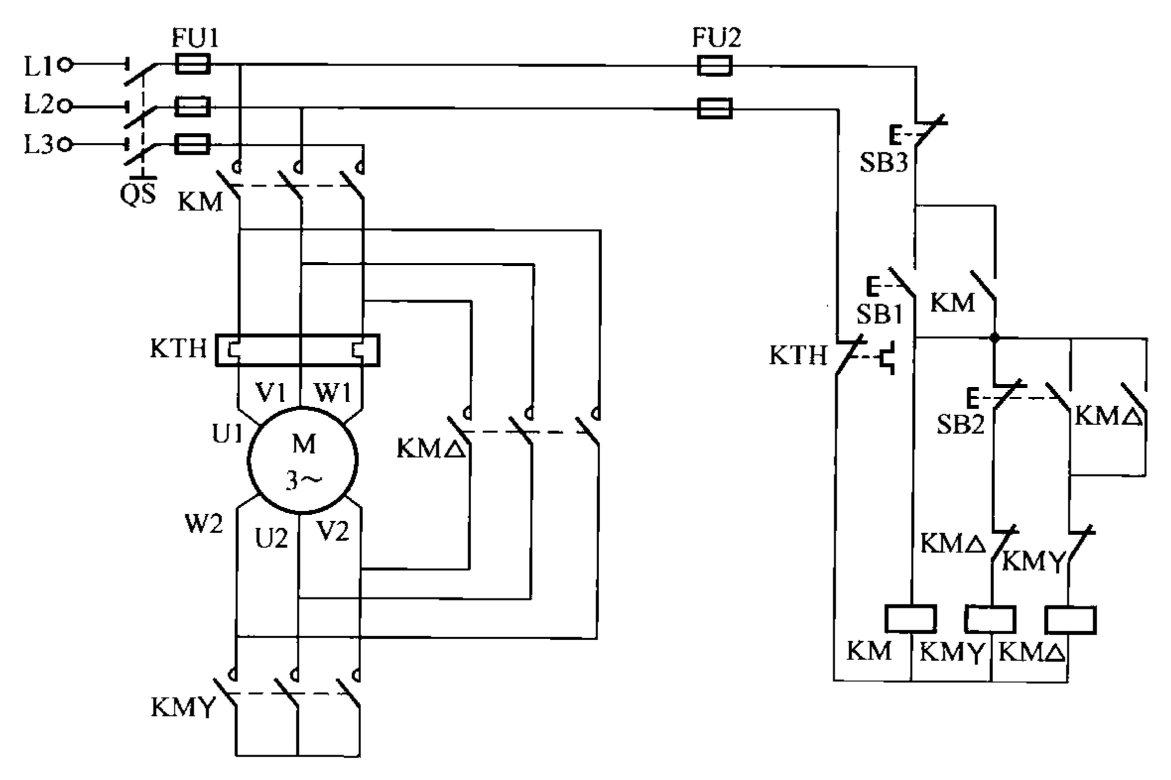


图 2-50 按钮控制 Y/△降压起动控制线路

例 2-51　时间继电器自动转换Y/△降压起动控制线路

图 2-51 所示即为用时间继电器自动转换 Y/△降压起动控制线路。该线路在三个接触器的基础上增加了一个时间继电器 KT，它作为控制星（Y）形降压起动时间和 Y/△接法自动转换用。FU1、FU2 和 KTH 则作短路和过载保护。

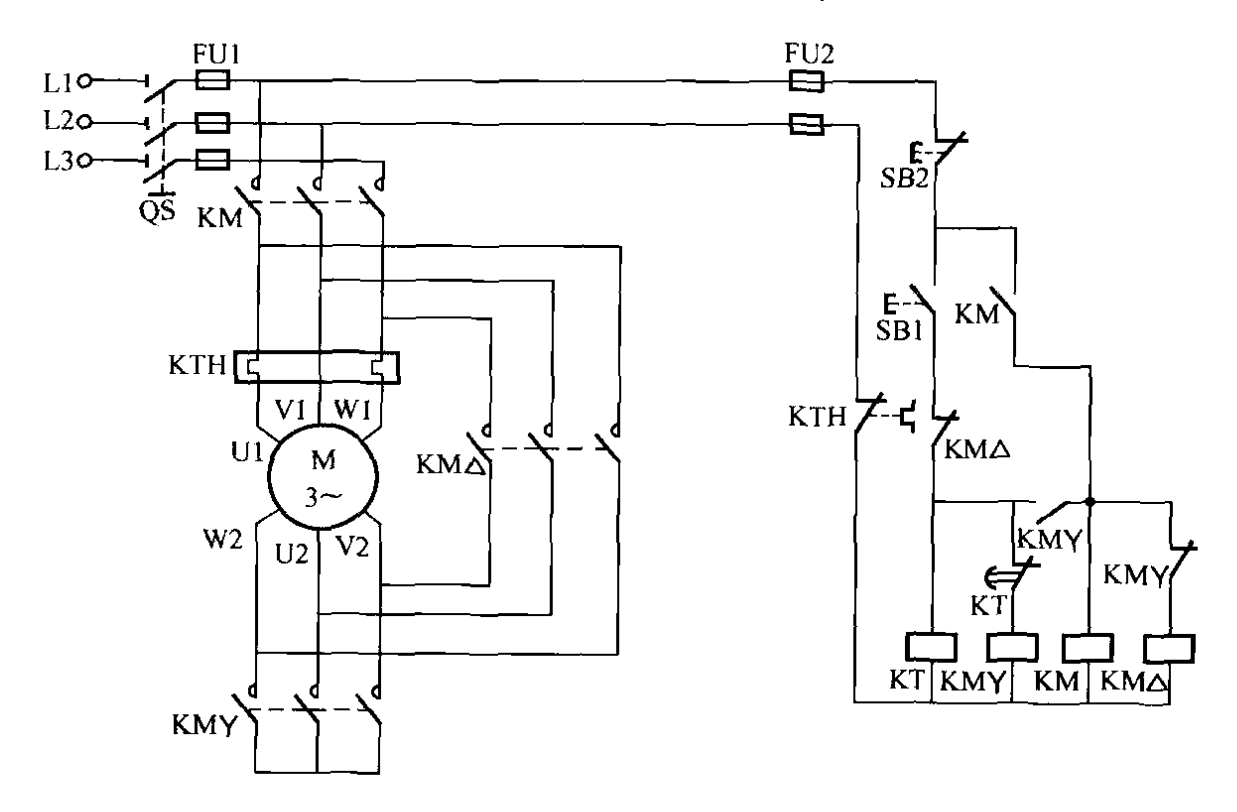


图 2-51　时间继电器自动转换 Y/△降压起动控制线路

例 2-52　另一种用时间继电器自动转换的Y/△降压起动控制线路

图 2-52 所示即为另一种用时间继电器自动转换的 Y/△降压起动控制线路。该线路主要由一只时间继电器 KT 和三只接触器 KMY、KM、KM△组成，时间继电器一般经 30s 延时起动时间后，即自动将电动机从起动时星（Y）形接法转换成额定运行时三角（△）形接法。

例 2-53　中间、时间继电器自动转换Y/△降压起动控制线路

图 2-53 所示为采用中间、时间继电器自动转换的 Y/△降压

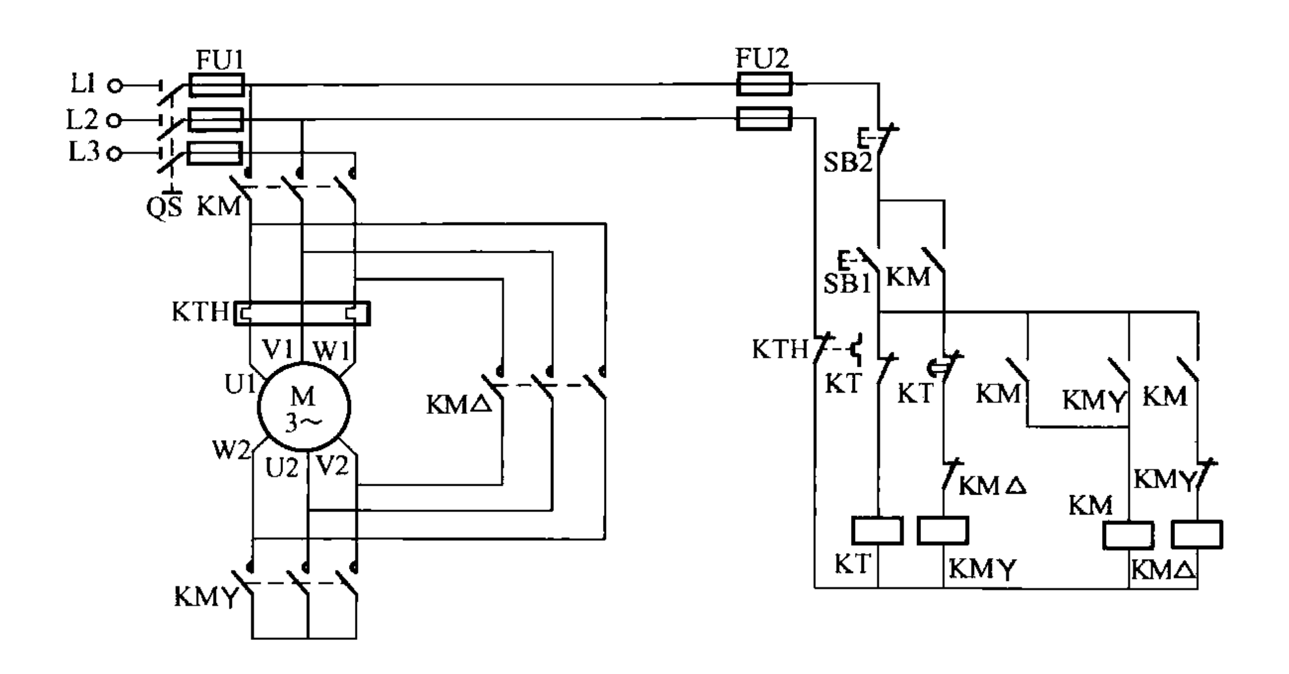


图 2-52　另一种用时间继电器自动转换的 Y/△降压起动控制线路

起动控制线路。该线路增加了一只中间继电器和时间继电器，因而可以防止大功率电动机在星（Y）形—三角（△）形接法转换过程中，因电弧不能完全熄灭而可能造成短路。

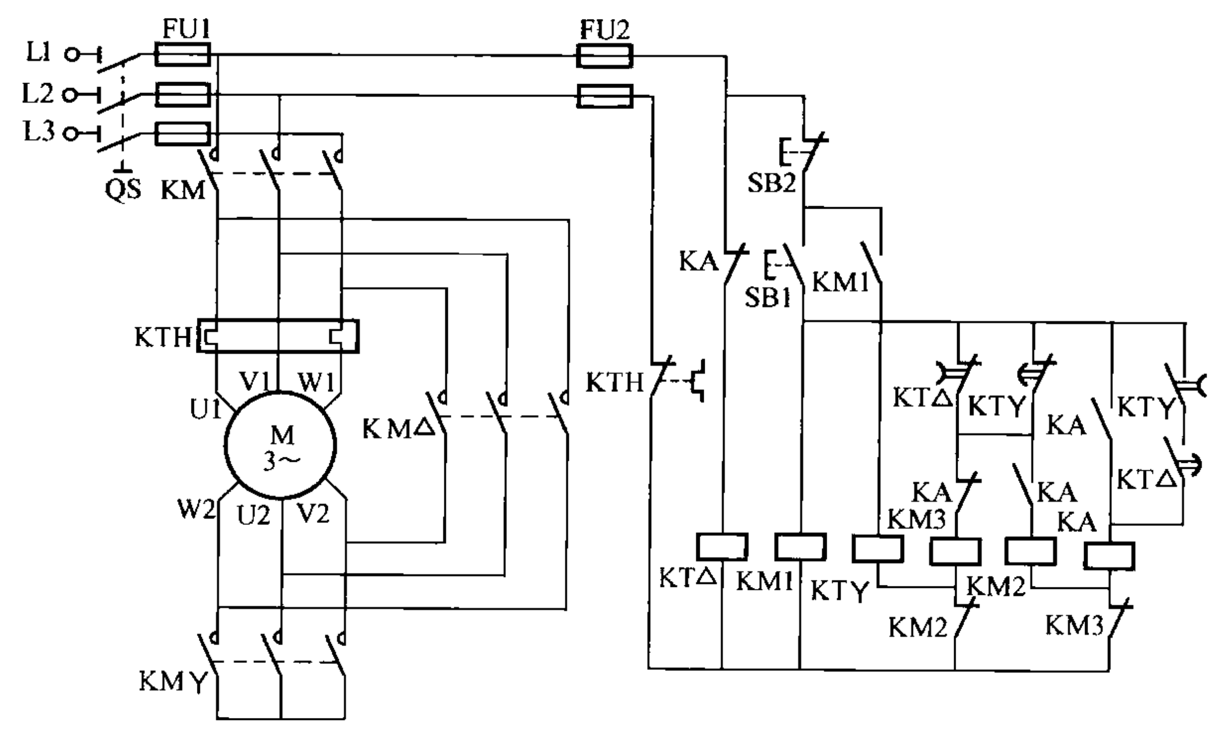


图 2-53　中间、时间继电器自动转换 Y/△降压起动控制线路

例 2-54　时间继电器、接触器组成的Y/△降压起动控制线路

图 2-54 所示即为采用时间继电器、接触器组成的 Y/△降压起动控制线路。该线路在起动时接触器 KMY 先将电动机接成星（Y）形接法起动，时间继电器经延时后自动转换成三角（△）形接法进入额定运行。FU1、FU2、KTH 对主、控电路作短路和过载保护。

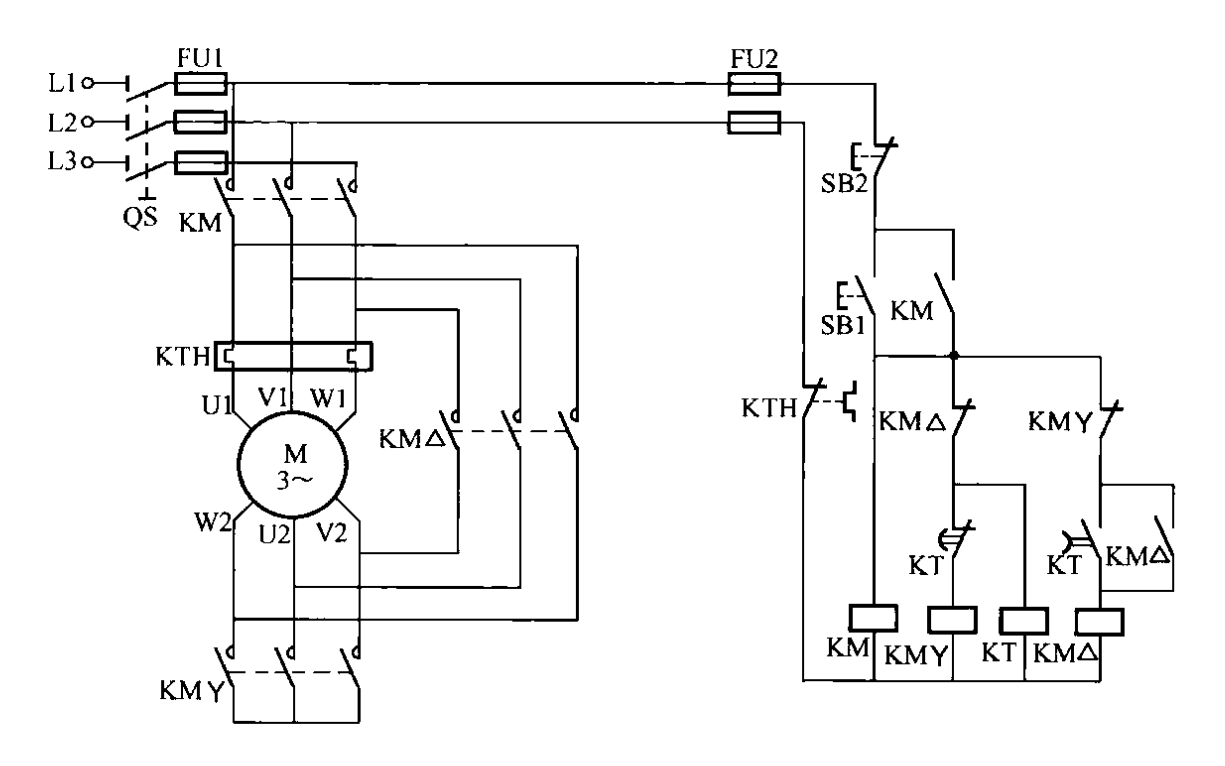


图 2-54　时间继电器、接触器组成的 Y/△降压起动控制线路

例 2-55　手动、自动混合控制Y/△降压起动控制线路

图 2-55 所示即为手动、自动混合控制 Y/△降压起动控制线路。该线路是一种既可手动又能自动远距离操作的 Y/△转换控制线路，它由中间继电器、时间继电器、交流接触器、按钮等组成，可用于大功率电动机的起动。

例 2-56　两个接触器组成的Y/△降压起动控制线路

图 2-56 所示即为采用两个接触器组成的 Y/△降压起动控制线路。 该线路的特点是利用接触器 KM2 的常闭辅助触点作为星

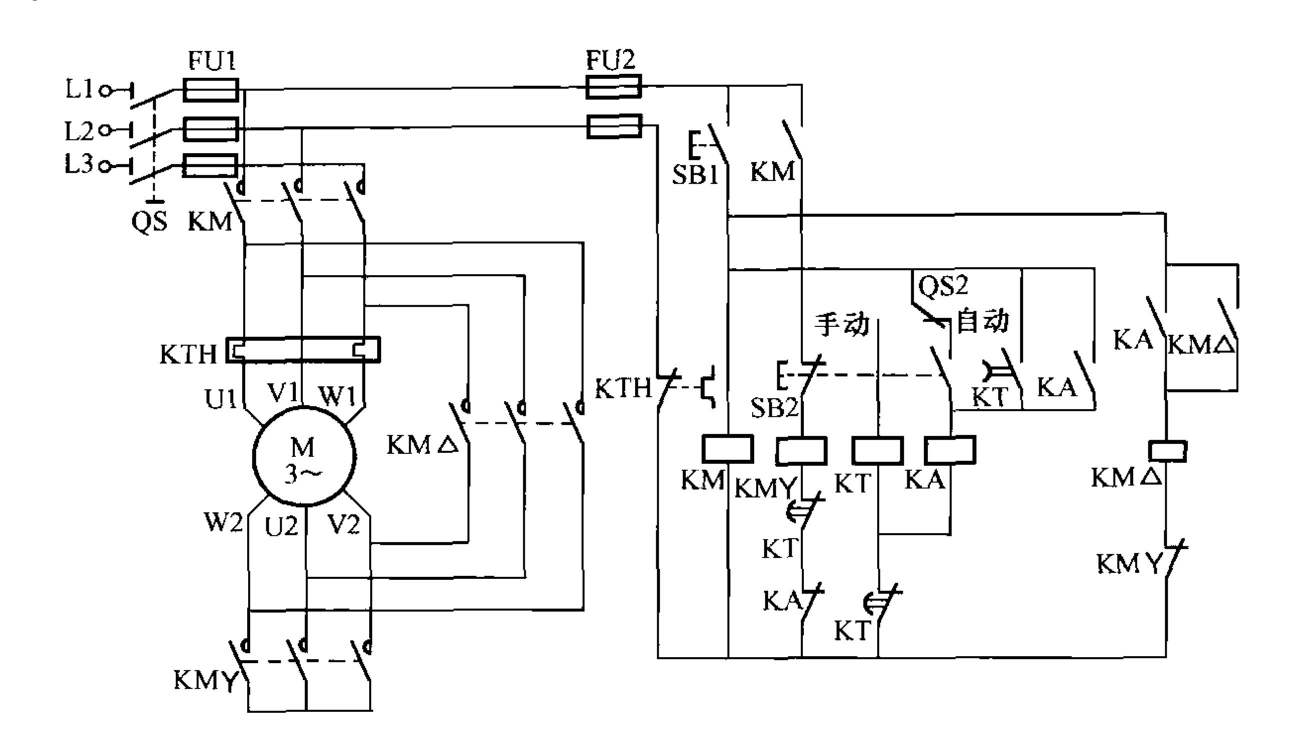


图 2-55 手动、自动混合控制 Y/△降压起动控制线路

（Y）形的星接点，待时间继电器延时起动结束，至使接触器KM2 得电动作，电动机即由星（Y）形转换成三角（△）形进入额定进行。

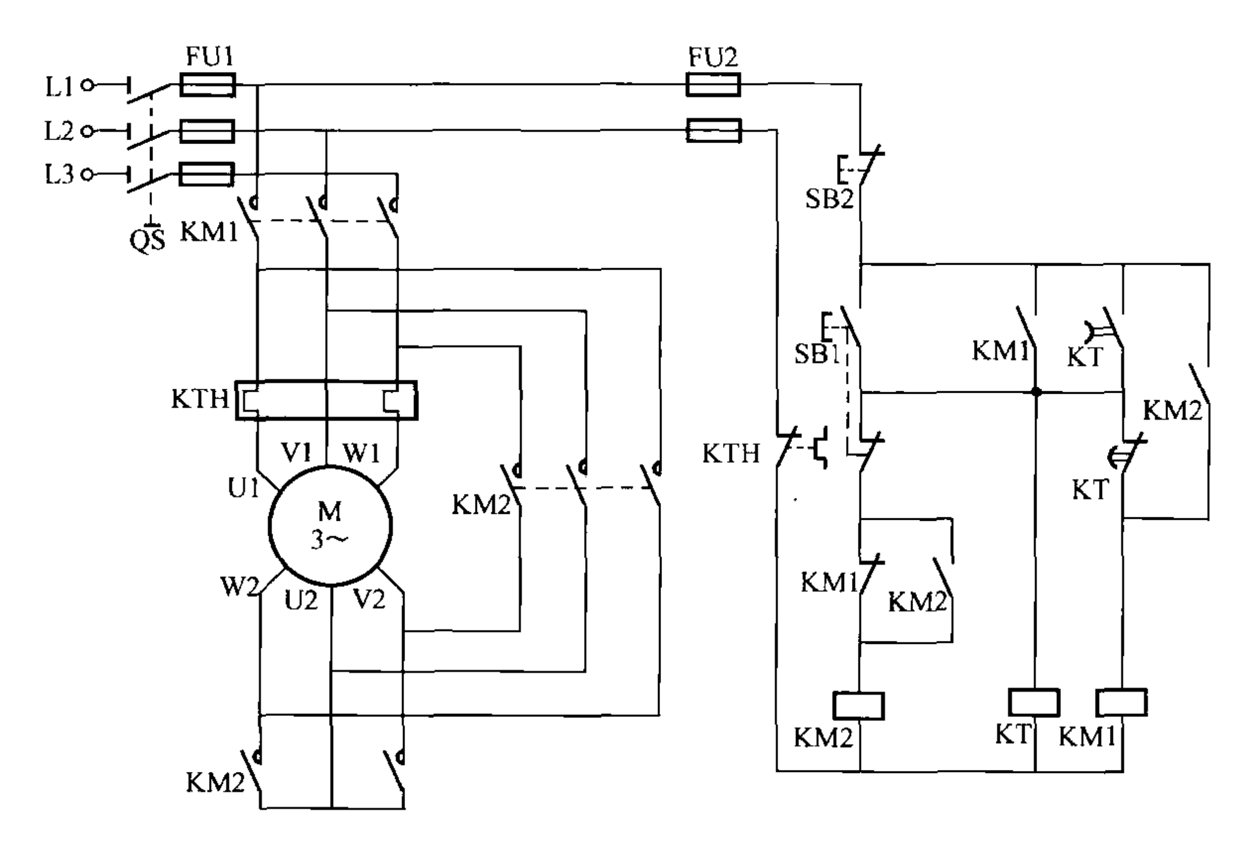


图 2-56 两个接触器组成的 Y/△降压起动控制线路

例 2-57　三个接触器组成的Y/△降压起动控制线路

图 2-57 所示即为用三个接触器组成的 Y/△降压起动控制线路。该线路是将电动机绕组接成星(Y)形接法作降压起动，并由时间继电器控制起动时间，自动将电动机绕组从起动时的星(Y)形接法转换为三角(△)形接法，当起动结束即转入额定运行。

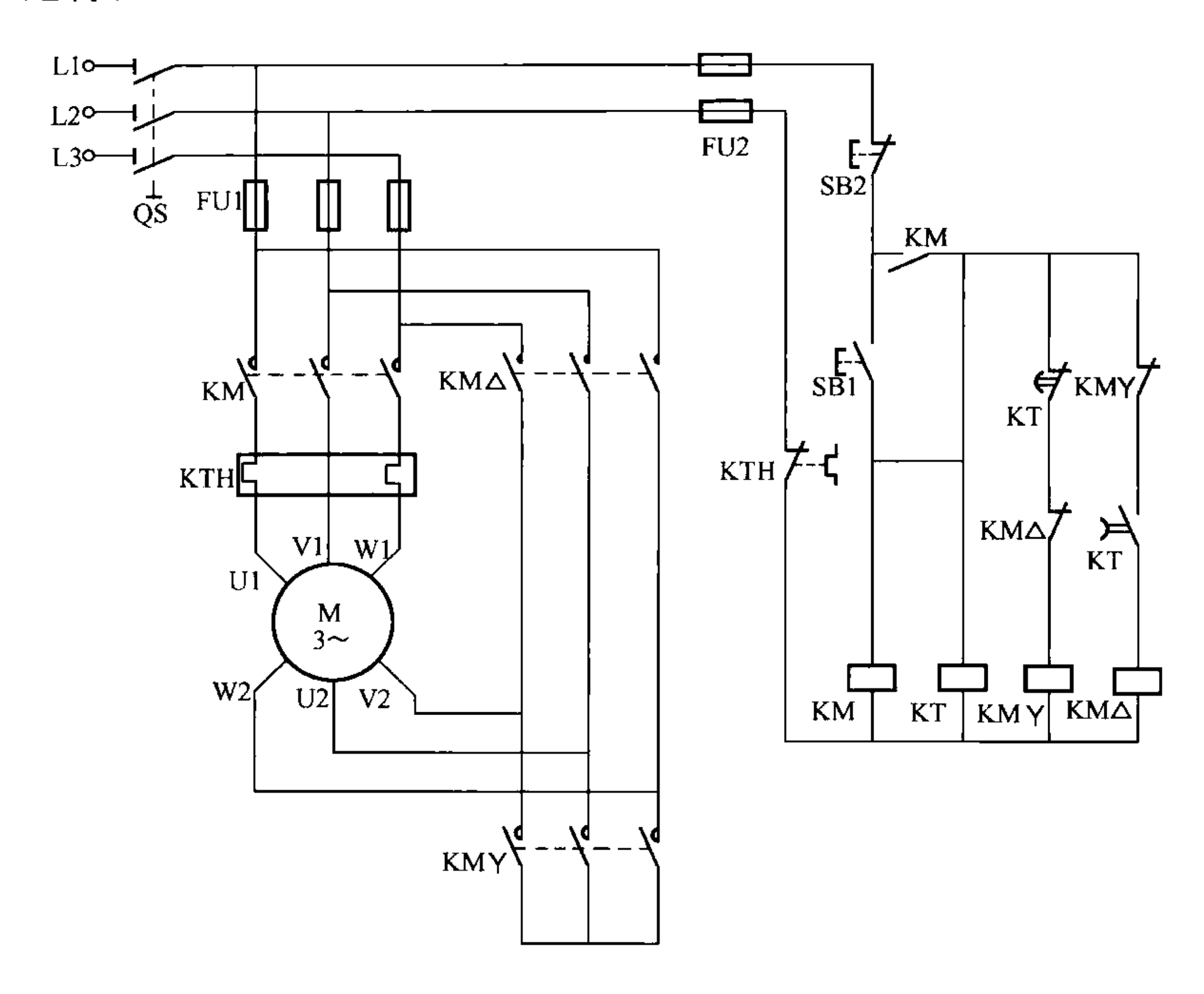


图 2-57　三个接触器组成的 Y/△降压起动控制线路

图 2-58　QX3-13 型Y/△降压起动器控制线路

图 2-58 所示即为 QX3-13 型 Y/△降压起动器控制线路。该起动器采用时间继电器自动控制电动机 Y/△形接法的转换，从而达到降压起动的目的。起动器主要由一个时间继电器 KT、接触器 KM、KMY、KM△和按钮等组成。

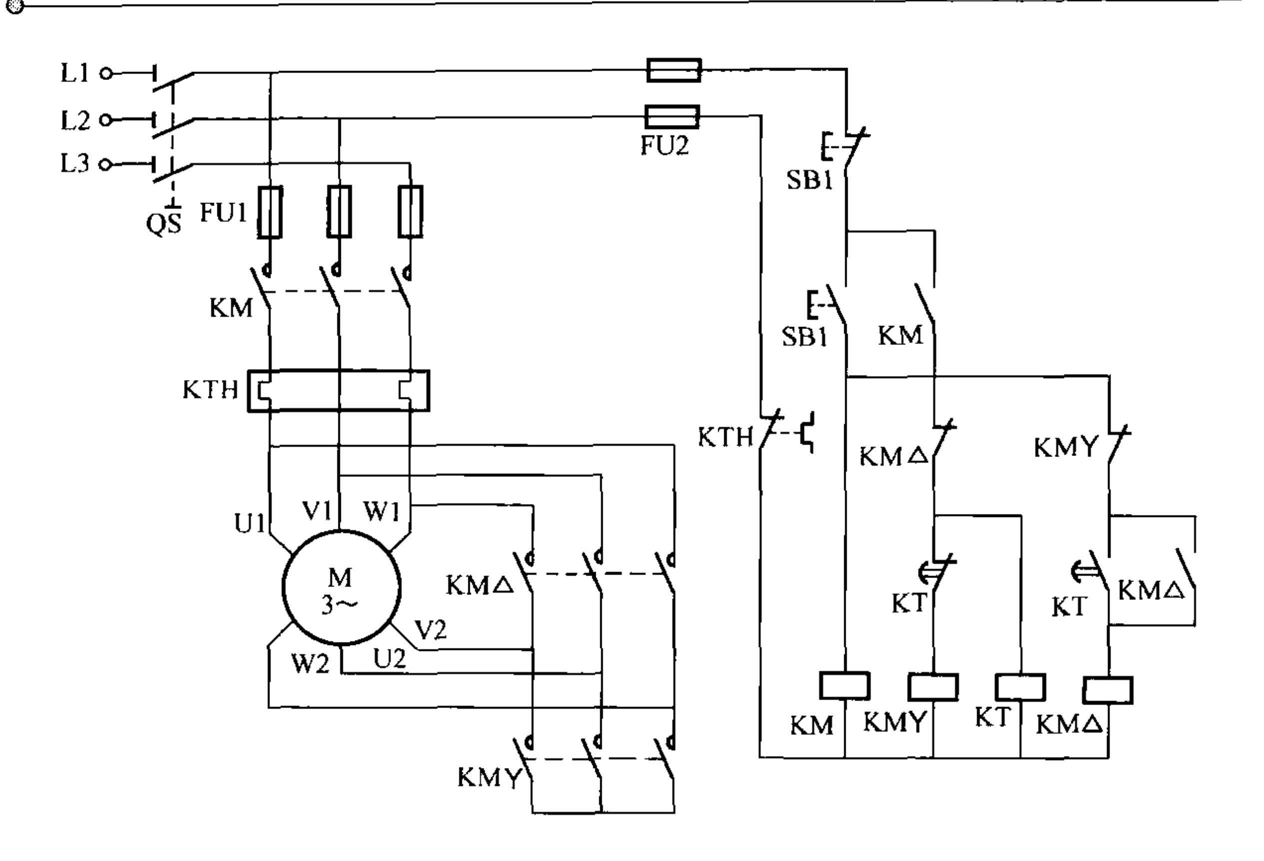


图 2-58　QX3-13 型 Y/△降压起动器控制线路

例 2-59　手动控制自耦变压器降压起动控制线路

图 2-59 所示即为手动控制自耦变压器降压起动控制线路。

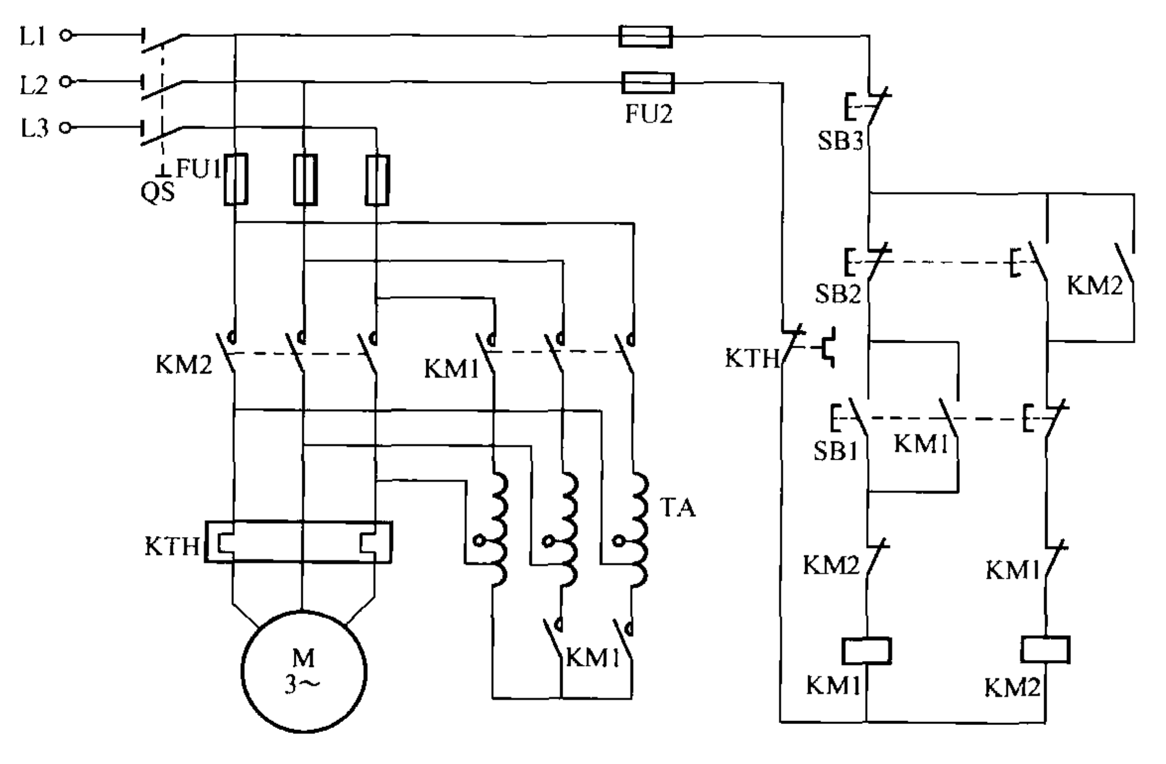


图 2-59　手动控制自耦变压器降压起动控制线路

该线路由两只交流接触器KM1、KM2，按钮SB1、SB2、SB3和热继电器KTH等组成。当按下SB1时，电动机经自耦变压器降压起动，然后再按下SB2时，电动机则将进入全压额定运行。

例2-60　按钮、中间继电器控制自耦变压器降压起动控制线路

图2-60按钮、中间继电器控制自耦变压器降压起动控制线路。该线路增加了一只中间继电器KA和接触器KM1，能可靠地防止因误操作而引起的电动机全压起动，也不会出现起动过程中的间隙断电和二次电流。

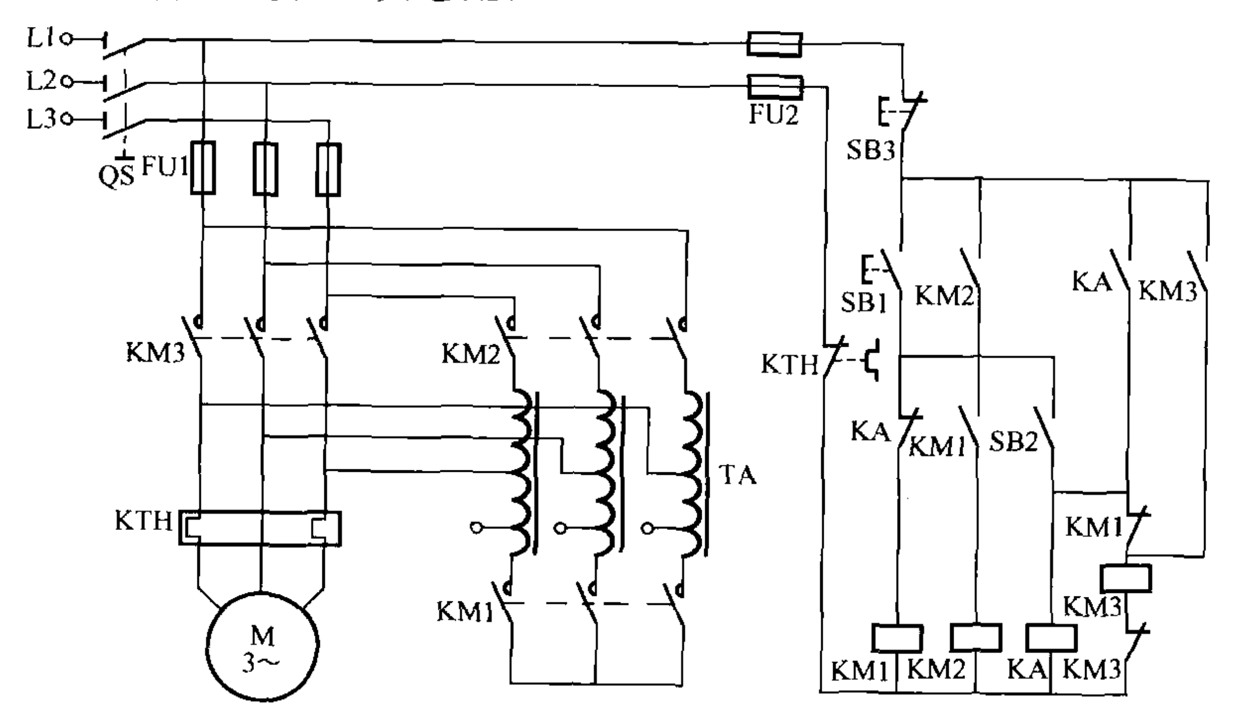


图2-60　按钮、中间继电器控制自耦变压器降压起动控制线路

例2-61　两接触器、按钮控制自耦变压器降压起动控制线路

图2-61所示为两接触器、按钮控制自耦变压器降压起动控制线路。该线路是利用接触器KM2的常闭辅助触点，以作为KM1起动时自耦变压器闭合的Y形连接点，并使电源电压降压后进入电动机。当起动过程完毕则接触器KM2直接与电源相接，并同时断开Y形连接点，电动机即进入全压稳定运行。

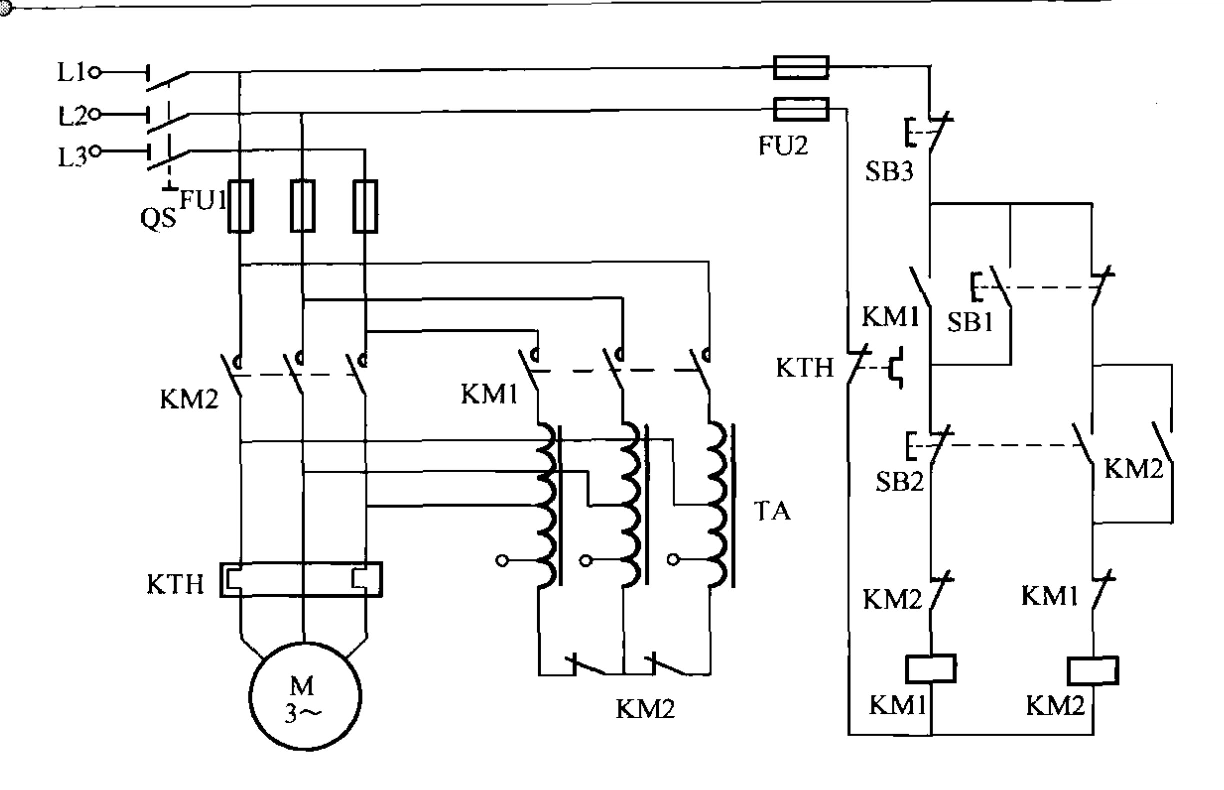


图 2-61　两接触器、按钮控制自耦变压器降压起动控制线路

例 2-62　时间继电器控制自耦变压器降压起动控制线路

图 2-62 所示即为时间继电器控制的自耦降压起动控制线路。该线路利用时间继电器的延时功能，在设定的起动时间内切断接

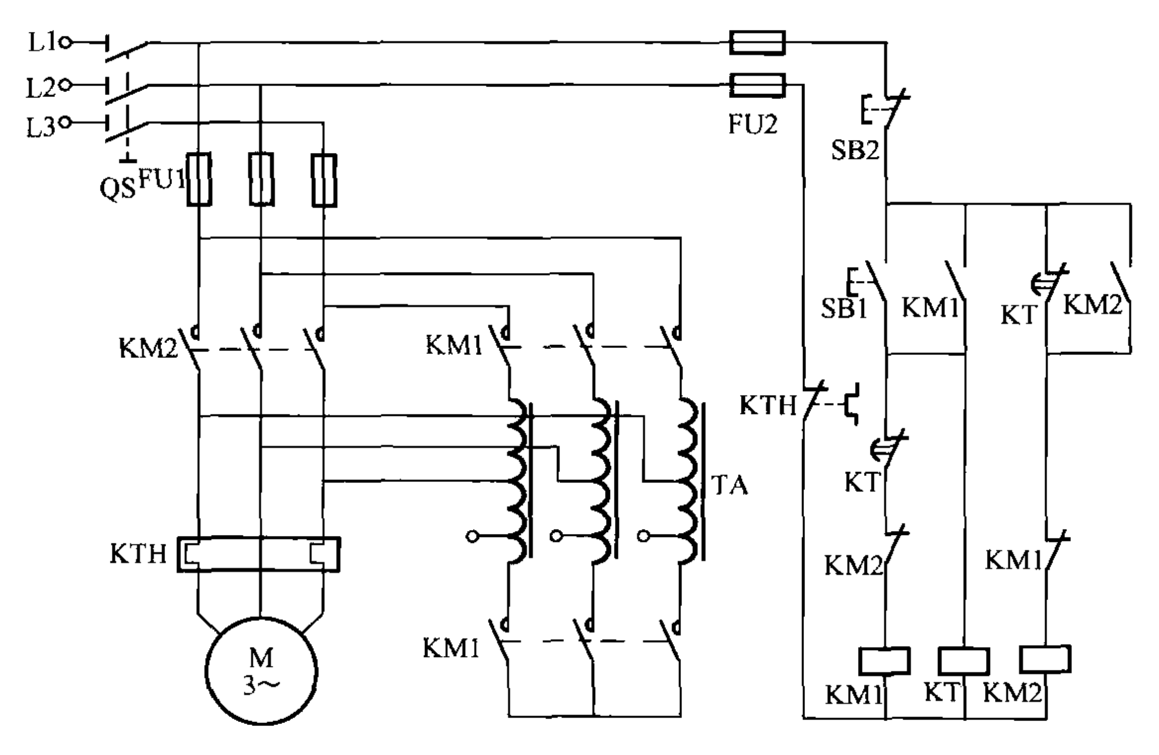


图 2-62　时间继电器控制自耦变压器降压起动控制线路

入自耦变压器的接触器 KM1，而由接触器 KM2 将电源直接进入电动机以作全压稳定运行。

例 2-63　另一种时间继电器控制自耦变压器降压起动控制线路

图 2-63 所示为另一种采用时间继电器控制自耦变压器降压起动控制线路。该线路的特点是起动时接触器 KM1 直接从自耦变压器抽头引入降低后的电压进入电动机。经设定时间后则时间继电器 KT 动作，这时电动机即自动进入全压稳定运行。

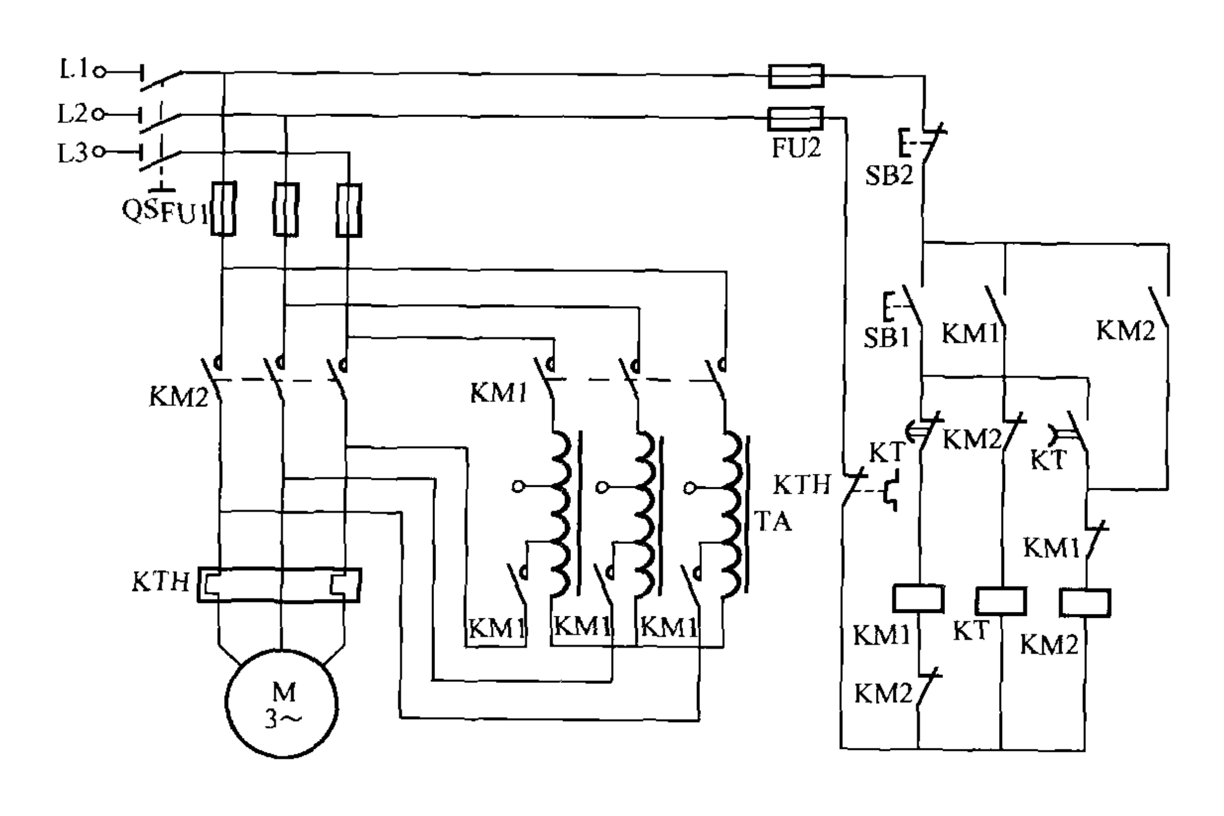


图 2-63　另一种时间继电器控制自耦变压器降压起动控制线路

例 2-64　带指示灯的时间继电器控制自耦变压器降压起动控制线路

图 2-64 所示为带指示灯的时间继电器控制自耦变压器降压起动控制线路。该线路通过时间继电器 KT 与自耦变压对电动机进行降压起动，以及作全压运行的自动转换。此外，还装置有指示起动过程的指示灯。

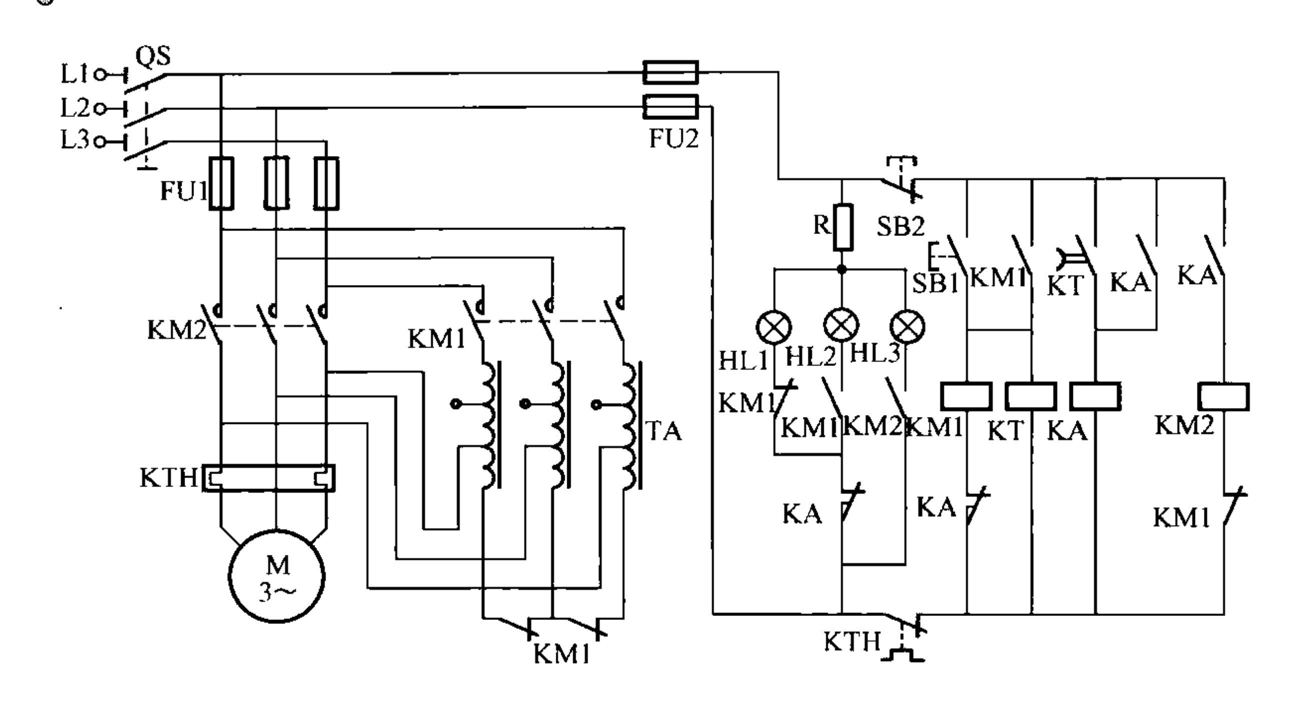


图 2-64　带指示灯的时间继电器控制自耦变压器降压起动控制线路

例 2-65　手动、自动混合控制自耦变压器降压起动控制线路

图 2-65 所示即为手动、自动混合控制自耦变压器降压起动控制线路。该线路是一种既能手动又能自动控制的自耦变压器降压起动混合控制线路，它适用于较大容量的笼型三相异步电动机

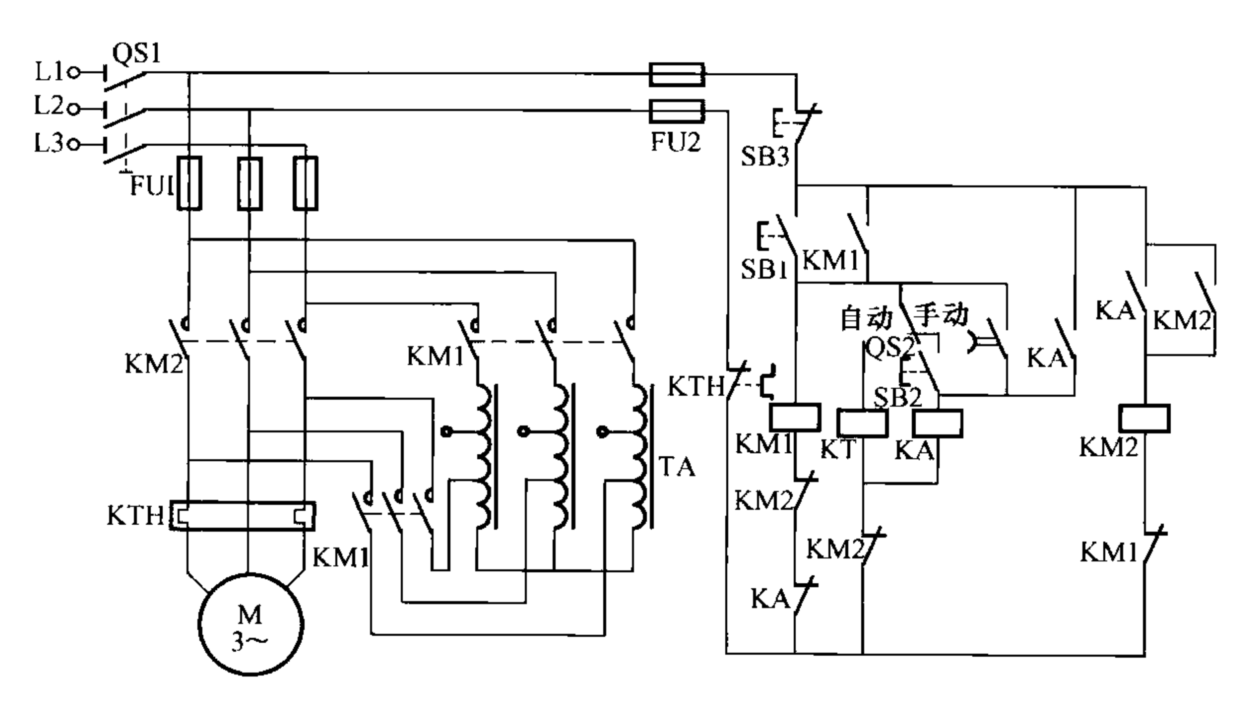


图 2-65　手动、自动混合控制自耦变压器降压起动控制线路

既需手动又需自动起动的场合。

例 2-66　XJ01 型自耦变压器降压起动控制线路

图 2-66 所示即为 XJ01 型自耦变压器降压起动控制线路。该起动器主要由自耦变压器 TA、接触器 KM1、KM2、中间继电器 KA、时间继电器 KT、热继器 KTH 和两组按钮 SB1-SB4 等电器组成。此线路还具有自动控制及过载和欠压保护。

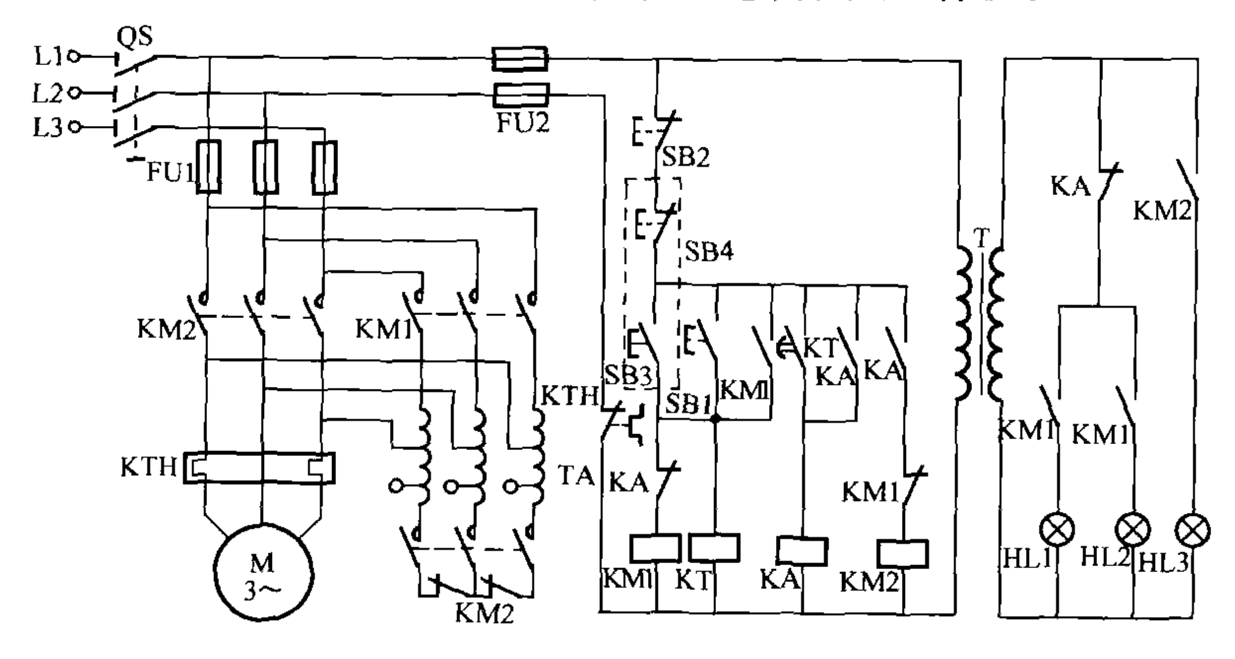


图 2-66　XJ01 型自耦变压器降压起动器控制线路

例 2-67　按钮控制延边三角形降压起动控制线路

图 2-67 所示即为按钮控制延边三角形降压起动控制线路。延边三角形降压起动是指在电动机起动时，将定子绕组的一部分接成“△”，另一部分绕组则接成“Y”形，使整个绕组接成一个延边三角形。待电动机起动完毕后，再把电动机绕组改接成三角形接法并全压运行于线路。

例 2-68　时间继电器控制延边三角形降压起动控制线路

图 2-68 所示即为采用时间继电器控制延边三角形接法的降压起动控制线路。该线路是利用时间继电器 KT、接触器 KM、KM△、KMA，去完成起动与运行的自动转换。

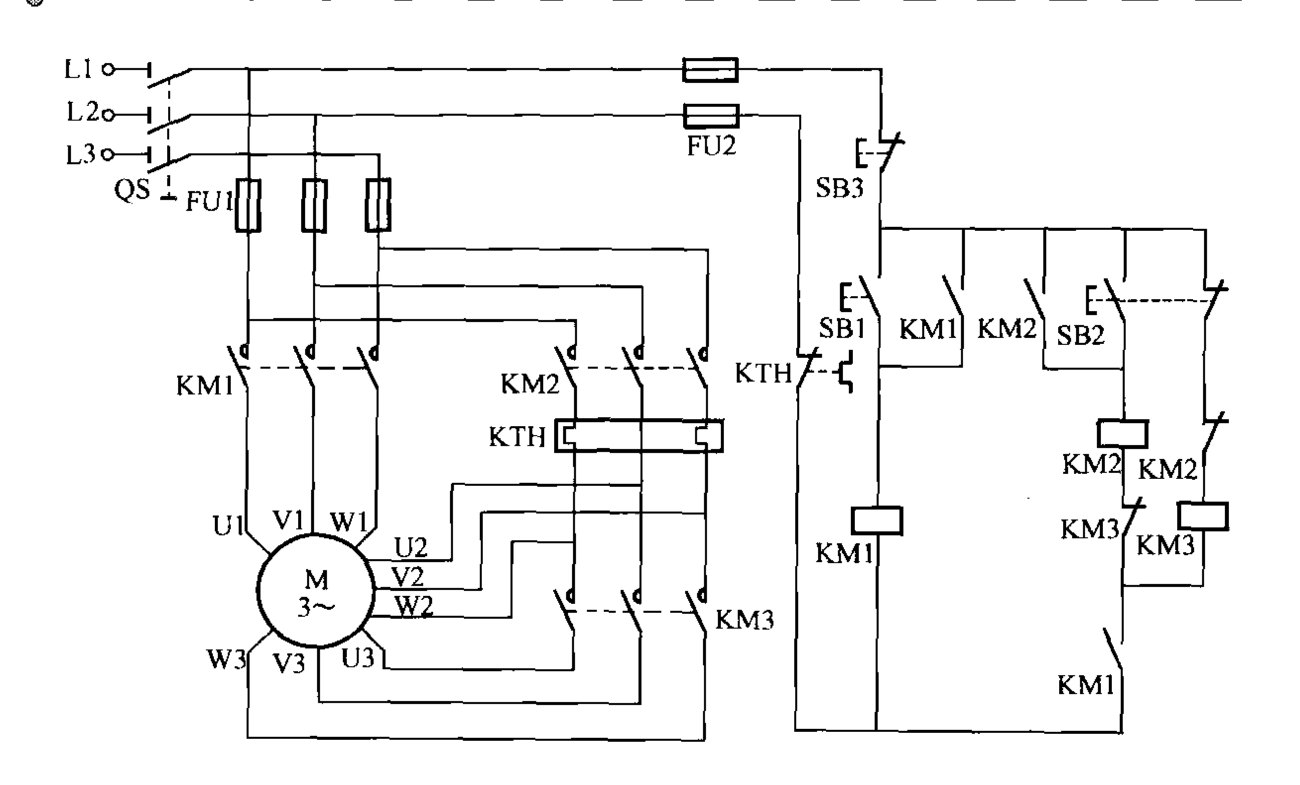


图 2-67 按钮控制延边三角形降压起动控制线路

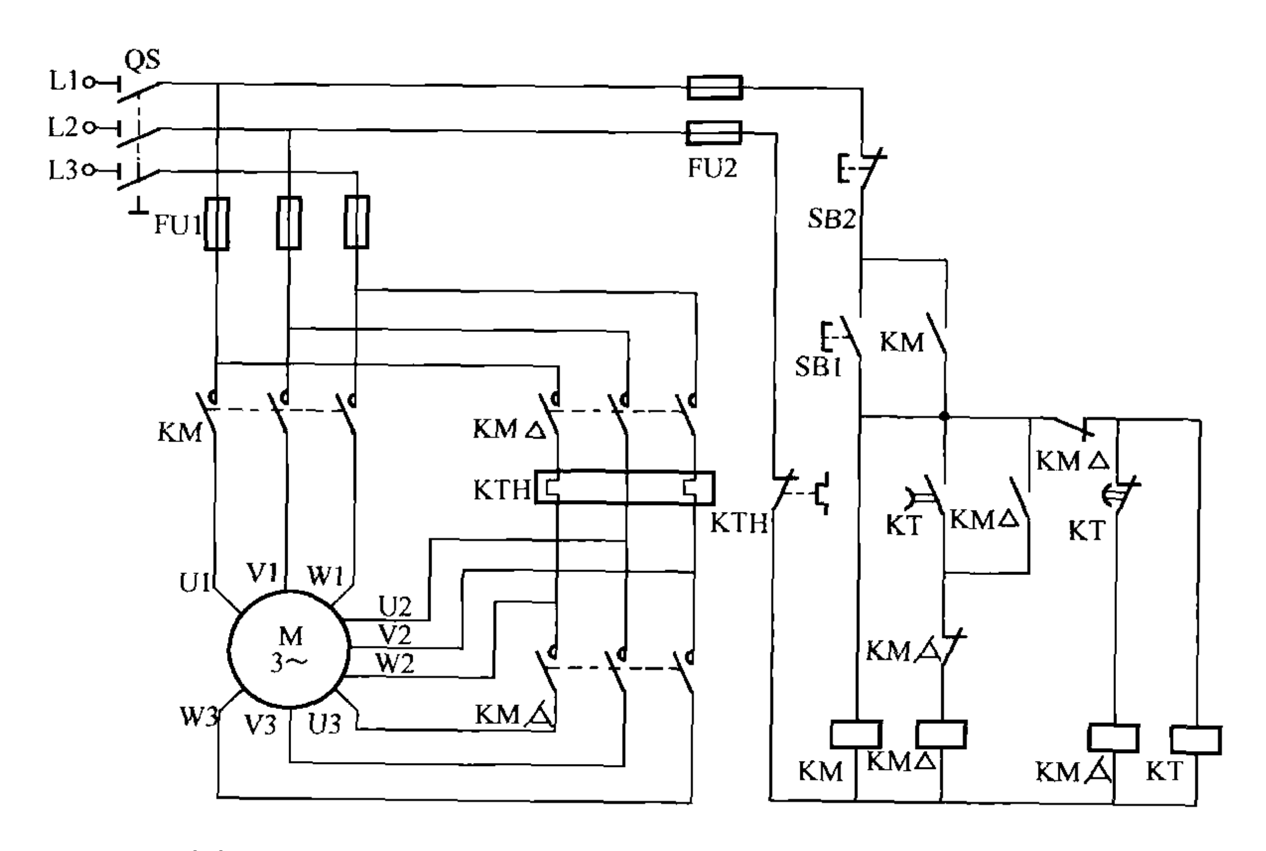


图 2-68 时间继电器控制延边三角形降压起动控制线路

例 2-69 XJ1 系列延边三角形降压起动控制线路

图 2-69 所示为 XJ1 系列延边三角形降压起动器控制线

路。该线路是采用延边三角形降压起动方法而制成的一种新型起动设备。这种起动器由于省去了降压用的自耦变压器，因而节省了材料、减小了体积，并且该起动器还允许进行频繁操作。

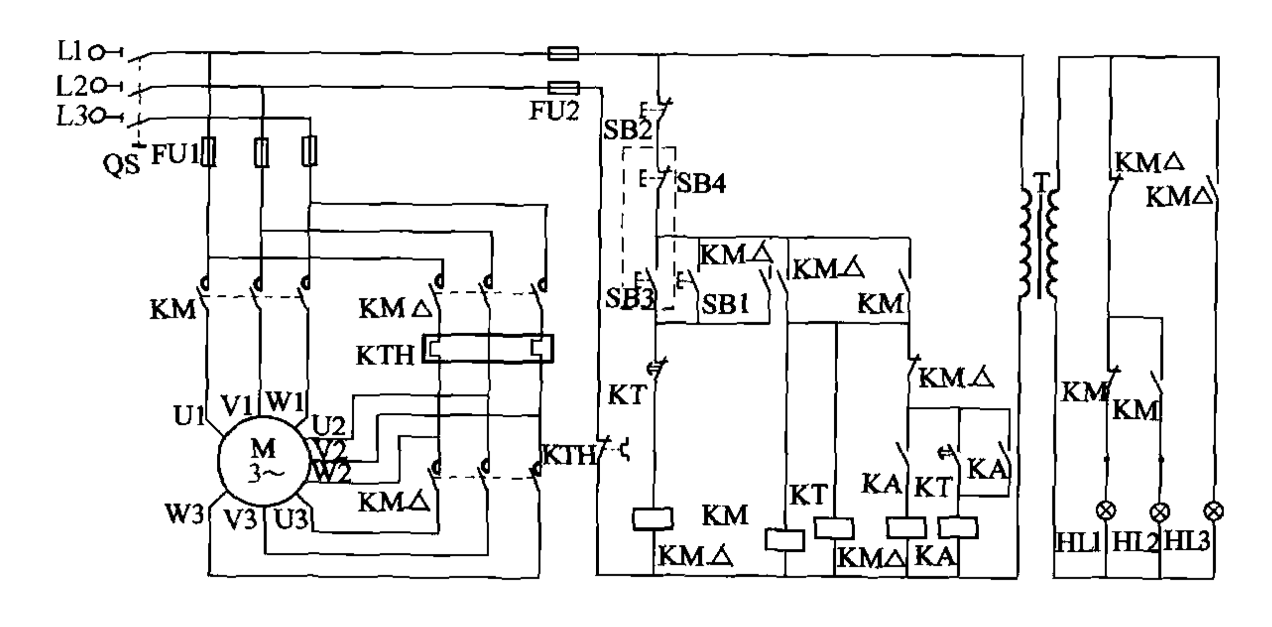


图 2-69 XJ1 系列延边三角形降压起动器控制线路

第 3 节 绕线转子异步电动机控制线路

在生产实际中对要求起动转矩大而起动电流却又要小，并且能平滑调速的场合，则常采用三相绕线式异步电动机。因为三相绕线式异步电动机的优点是可以通过滑环在其转子绕组中串接电阻，以改善电动机的机械和电气特性，从而达到减小起动电流、增大起动转矩和平滑调速的目的。在电动机转子绕组中有串接生铁电阻器和频敏变阻器两种方式。

例 2-70 绕线转子串接起动电阻的两种方式

图 2-70 所示即三相绕线转子串接起动电阻的两种方式。一般对三相绕线转子异步电动机的起动控制，多采用在其转子绕组中串连外接电阻的方法。由于电动机转子电阻直接影响其起动电流和起动转矩的大小、转速的高低，所以通过电动机转子外接电阻可对其减小起动电流、增大起动转矩及小范围调速。转子外接

电阻通常有三相对称电阻法和不对称电阻法这样两种方式，如图2-70中所示。

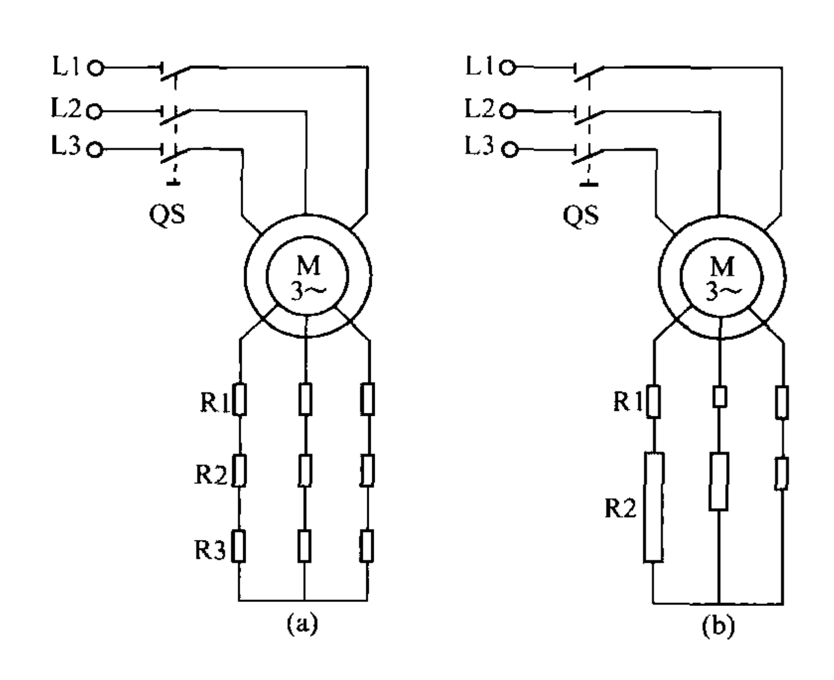


图 2-70　绕线转子串接起动电阻的两种方式
(a) 转子串三相对称电阻；(b) 转子串三相不对称电阻

例 2-71　按钮控制转子绕组串电阻起动控制线路

图 2-71 所示即为按钮控制转子绕组串电阻起动控制线路。绕线转子异步电动机的特点是其三相绕组可以通过轴上的滑环与外电路连接。因其转子电阻对电动机的起动电流、起动转矩及工作转速均有不同程度的影响，所以绕线转子异步电动机常用外接电阻的方法来控制它的起动和速度调节。此线路为采用三级对称电阻器按钮操作控制线路。起动时，在转子回路中接入作为“Y”形连接、分级切换的三相起动电阻器，起始位置的电阻为最大，以减小起动电流和增大起动转矩。随电动机转速的增高可逐级减小电阻，直至将全部电阻切除，电动机即进入额定运行。

例 2-72　时间继电器控制转子绕组串电阻起动控制线路

图 2-72 所示即为时间继电器控制转子绕组串电阻起动控制

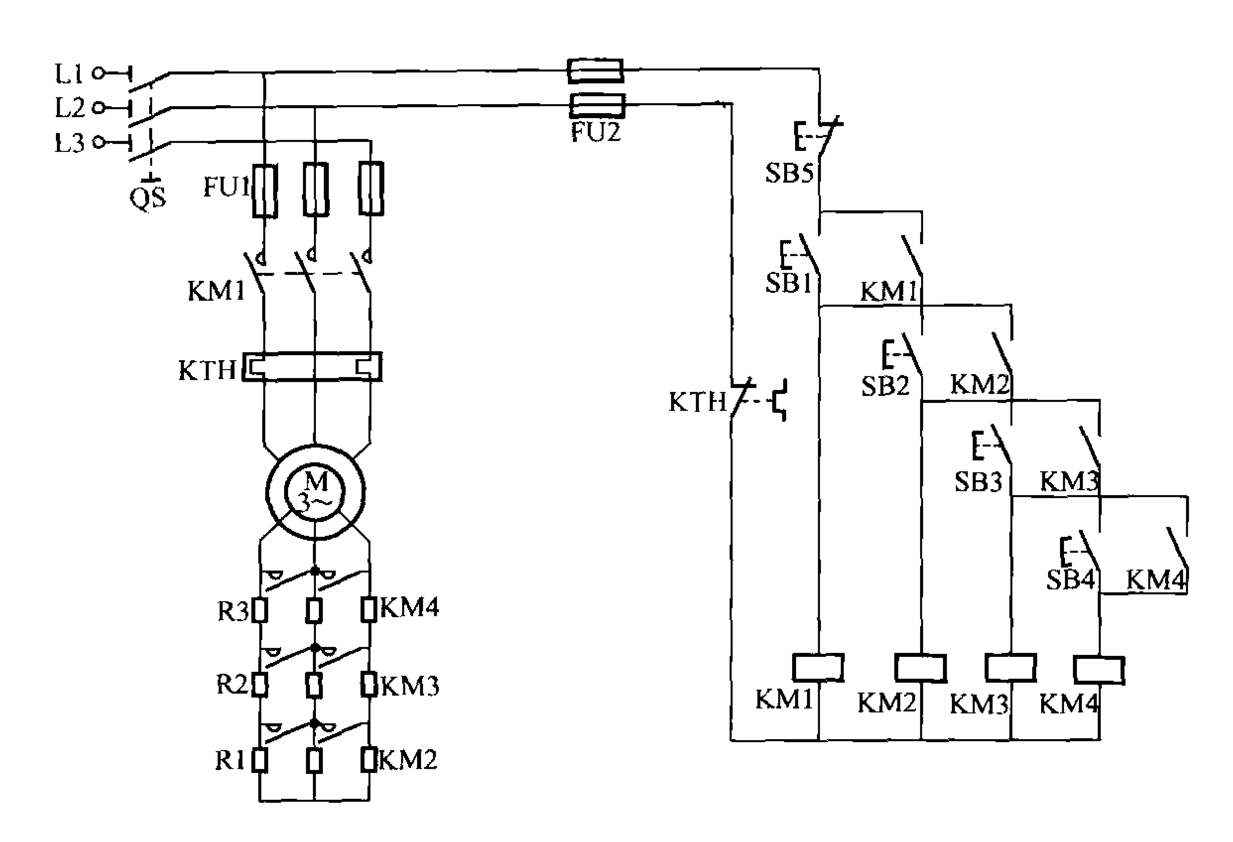


图 2-71　按钮控制转子绕组串电阻起动控制线路

线路。该线路采用三只时间继电器 KT1、KT2、KT3 和三个接触器 KM2、KM3、KM4 的相互配合来依次自动切除转子绕组中串入的三级电阻，自动完成起动过程。

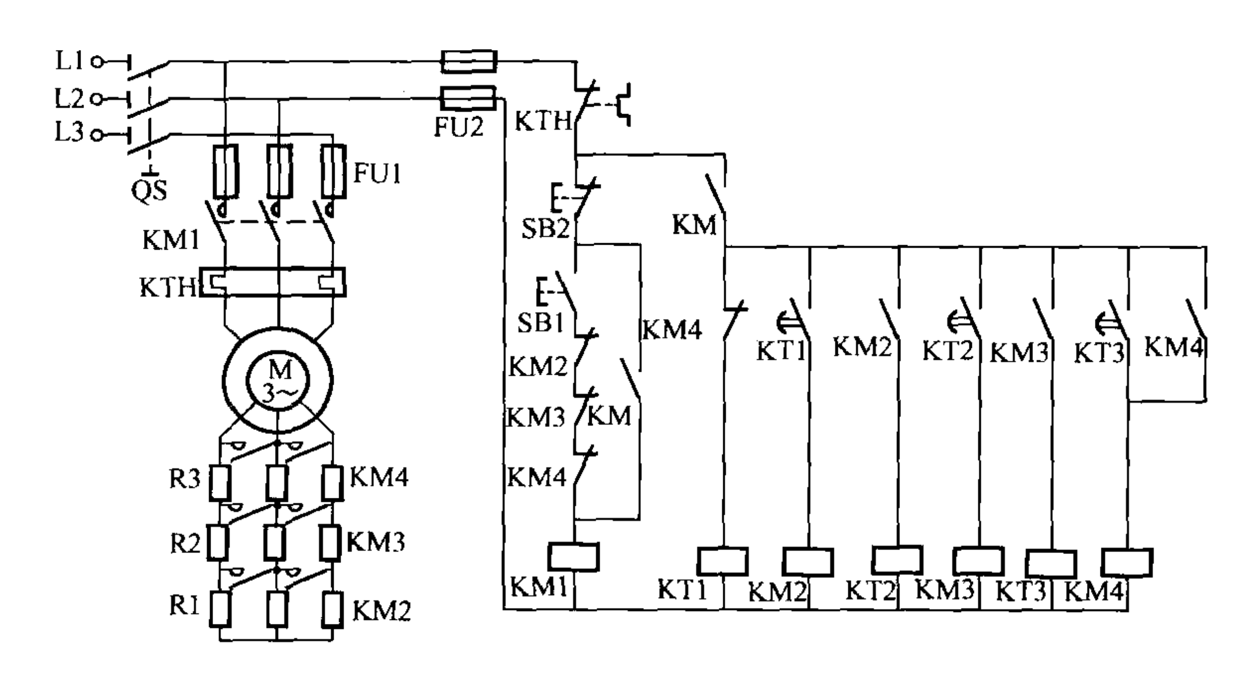


图 2-72　时间继电器控制转子绕组串电阻起动控制线路

例 2-73 电流继电器控制转子绕组串电阻起动控制线路

图 2-73 所示即为采用电流继电器控制转子绕组串电阻起动控制线路。该线路采用三个过电流继电器 KA1、KA2、KA3，并按照电动机转子电流的变化依次控制接触器 KM1、KM2、KM3 得电动作，来逐级切除串接在转子绕组中的外加电阻后，电动机即进入额定运行。

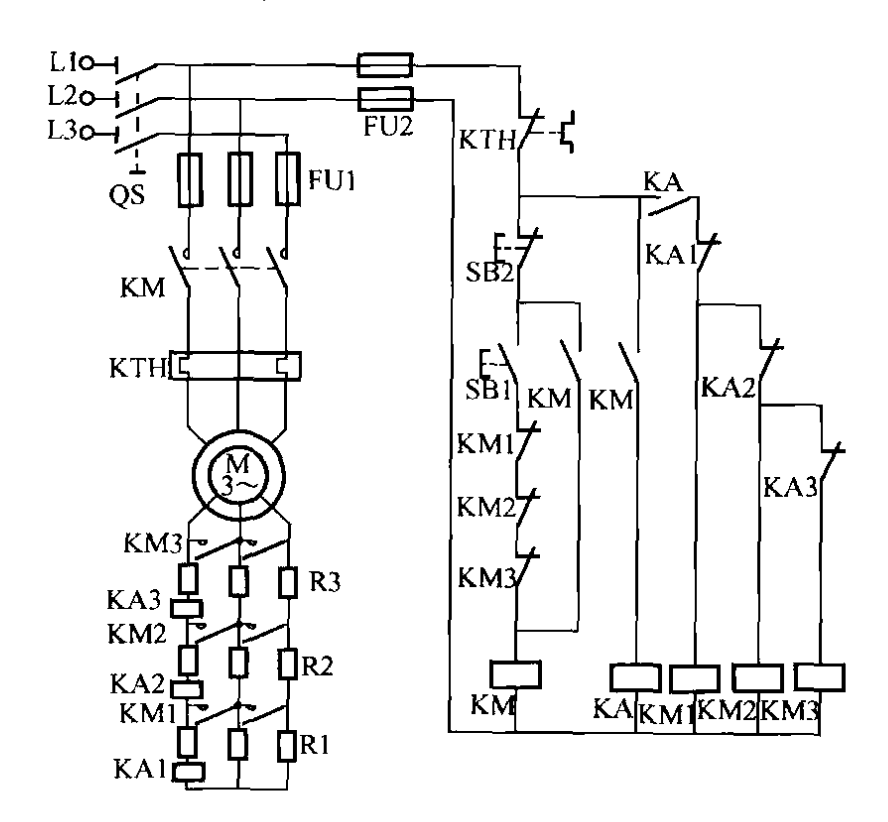


图 2-73 电流继电器控制转子绕组串电阻起动控制线路

例 2-74 凸轮控制器控制转子串接电阻可逆起动控制线路

图 2-74 所示即为凸轮控制器控制转子串接电阻可逆起动控制线路。该线路中凸轮控制器的操作手轮动作位置有“0”至左边和右边各 5 个位置，内部还有 K1、K2、K3 常闭触点 3 对及 K4-K12 常开触点 9 对。起动时，合上电源开关 QS，电动机一相定子绕组便立即得到 L1 相电源；将操作手轮由位置“0”向左边转至位置“1”，K1、K2、K3 常闭触点打开，K5、K7 常开触点闭合，另外两相定子绕组获得 L2、L3 相电源，电动机即开始起动。这时，Y 形连接的起动电阻全部接入转子绕组。当手轮位置左转至位置“2”时，K12 常开触点闭合，电阻 R1 被短接；

依此类推，当手轮位置左转至位置 3、4、5 时，则电阻 R2、R3、R4、R5 被依次短接，起动过程即予结束。

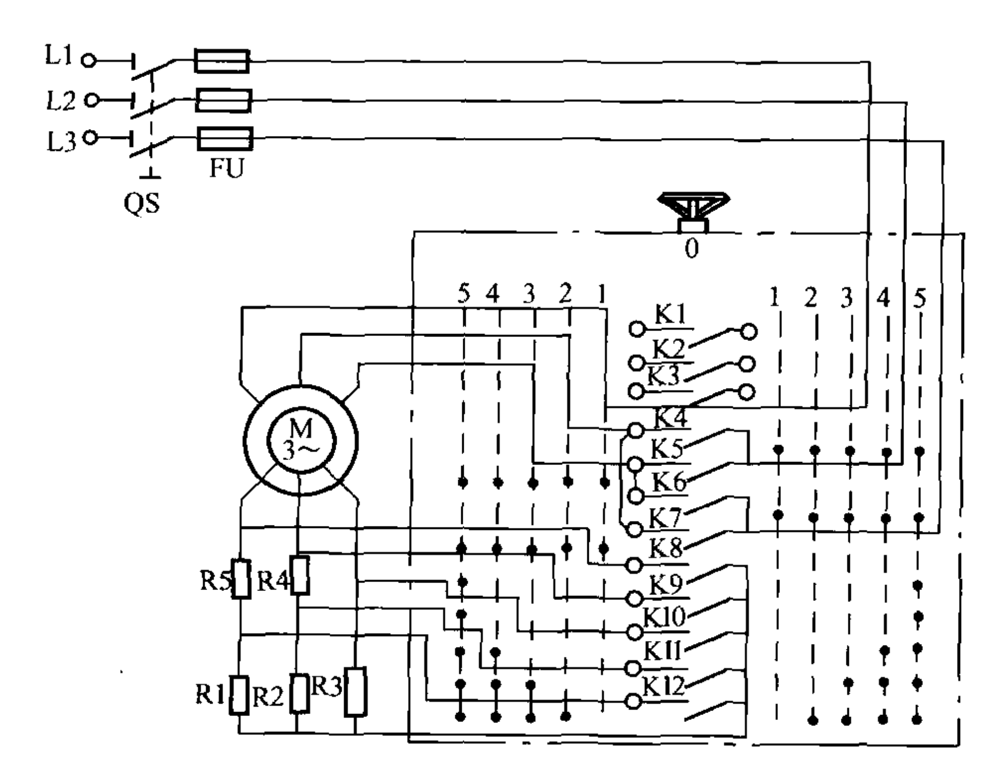


图 2-74 凸轮控制器控制转子串接电阻可逆起动控制线路

例 2-75 按钮操作平衡短接法可逆起动控制线路

图 2-75 所示即为按钮操作平衡短接法可逆运行控制线路。该线路中电动机的起动和起动电阻的短接，都通过按钮的手动操作来控制。SB1、SB2 为正、反向起动的按钮，按下这两个按钮电动机即作正、反向起动。SB3、SB4、SB5 为短接起动电阻 R3、R2、R1 的按钮，按下后起动电阻被依次短接。该线路还具有过载、欠压、失压保护的功能。

例 2-76 按钮操作不平衡短接法可逆起动控制线路

图 2-76 所示即为按钮操作不平衡短接法可逆起动控制线路。该线路是一种具有过载、欠压、失压保护的鼓形控制器控制的电动机可逆起动控制线路。它主要由凸轮控制器、交流接触器 KM、热继电器 KTH 和按钮 SB 等电器元件组成。其起动过程为：合上电源开关 QS，按下起动按钮 SB1，接触器 KM 的线圈得电动作并自锁，电动机的一相定子绕组便立即接入 L1 相电源，

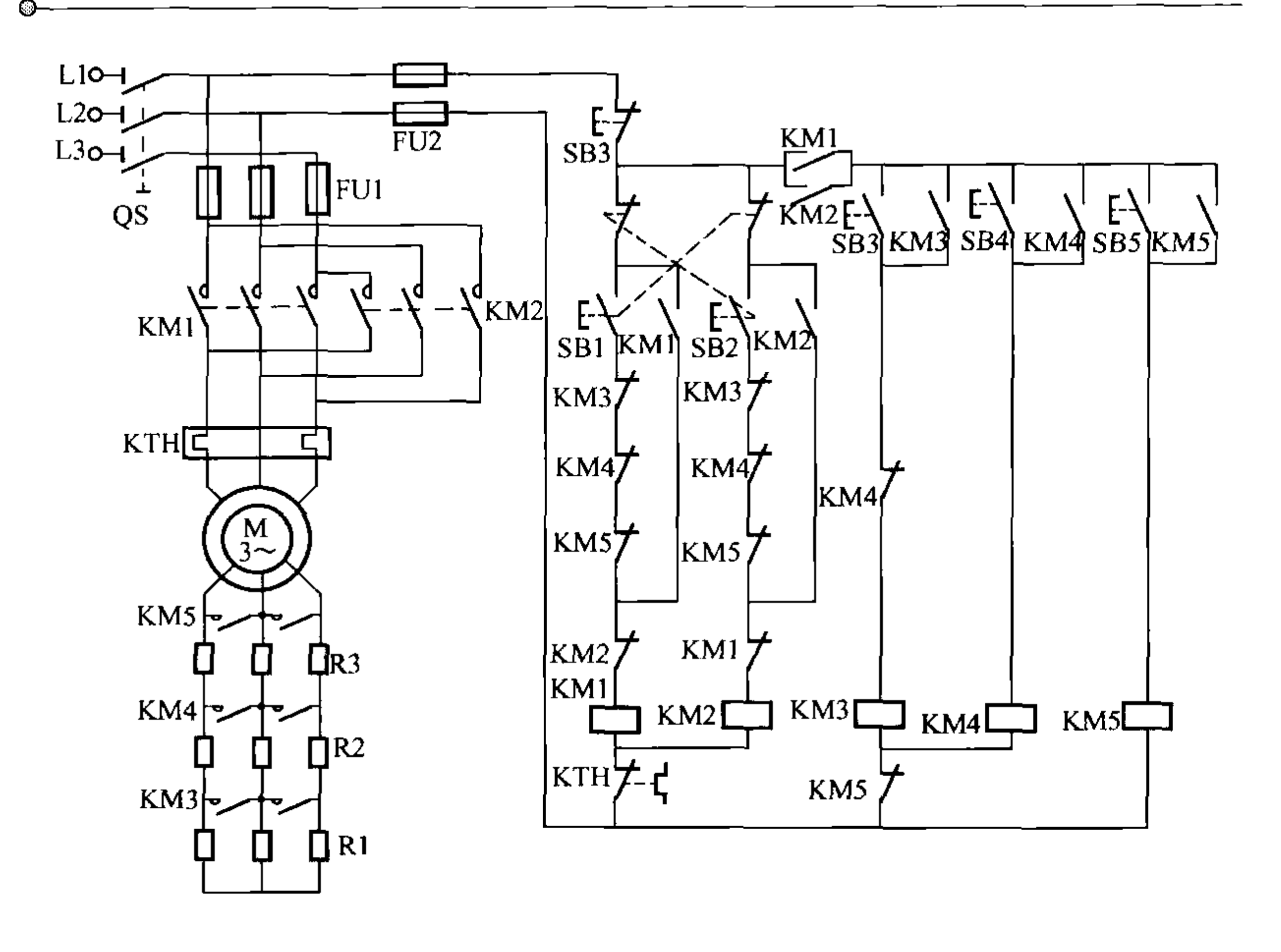


图 2-75 按钮操作平衡短接法可逆起动控制线路

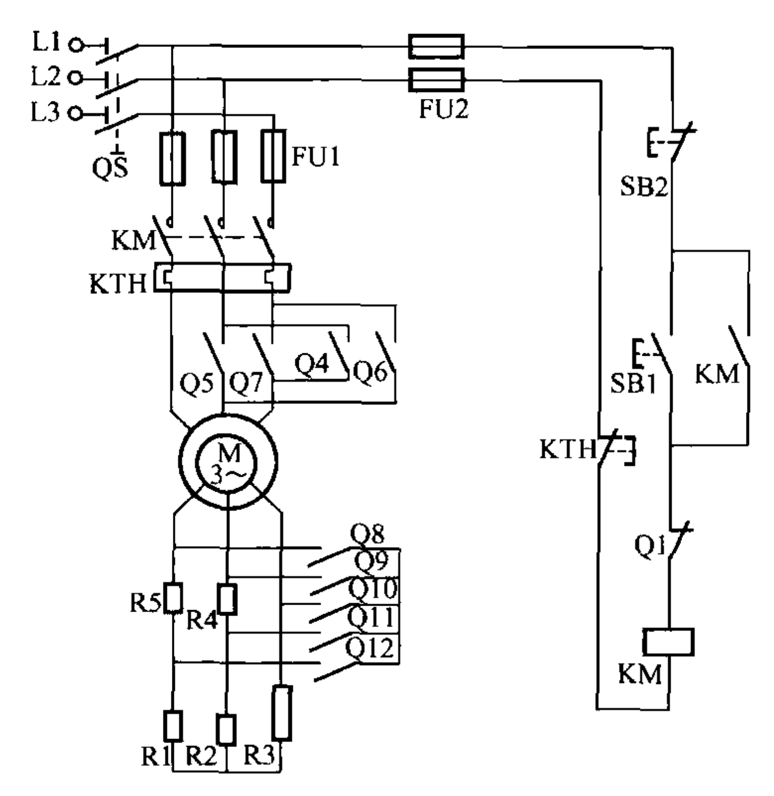


图 2-76 按钮操作不平衡短接法可逆起动控制线路

随后的动作便于图 2-74 中所进行的一样了。本图中串接在控制线路起动按钮 SB1 中的常闭触点 Q1 能起到防止电动机直接起动的作用。

例 2-77　时间继电器控制平衡短接法可逆起动控制线路

图 2-77 所示即为时间继电器控制平衡短接法可逆起动控制线路。该线路采用三只时间继电器 KT1、KT2、KT3，以与三个交流接触器 KM1、KM2、KM3 配合，共同对电动机转子外接平衡电阻进行分级短接。从而实现对绕线转子电动机的可逆起动、运行和调速，线路还具有过载、欠压及失压保护。

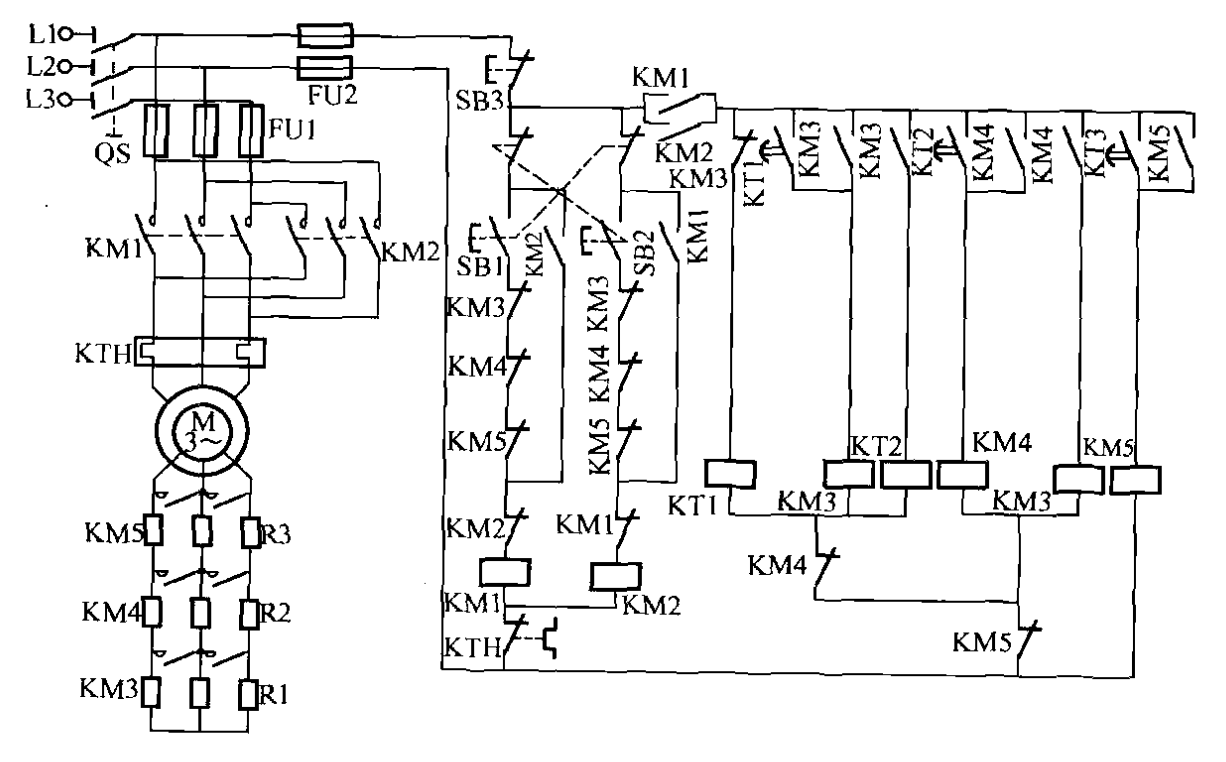


图 2-77　时间继电器控制平衡短接法可逆起动控制线路

例 2-78　手动可逆起动、调速凸轮控制器控制线路

图 2-78 所示为手动可逆起动、调整凸轮控制器控制线路。该线路是采用凸轮控制器来实现绕线转子异步电动机的起动、调速及正、反转的。此线路保护完备、运行可靠、维修方便，它常用于桥式起重机上。

例 2-79　频敏变阻器的串、并联接法

图 2-79 所示为频敏变阻器的串、并联接法。频敏变阻器是

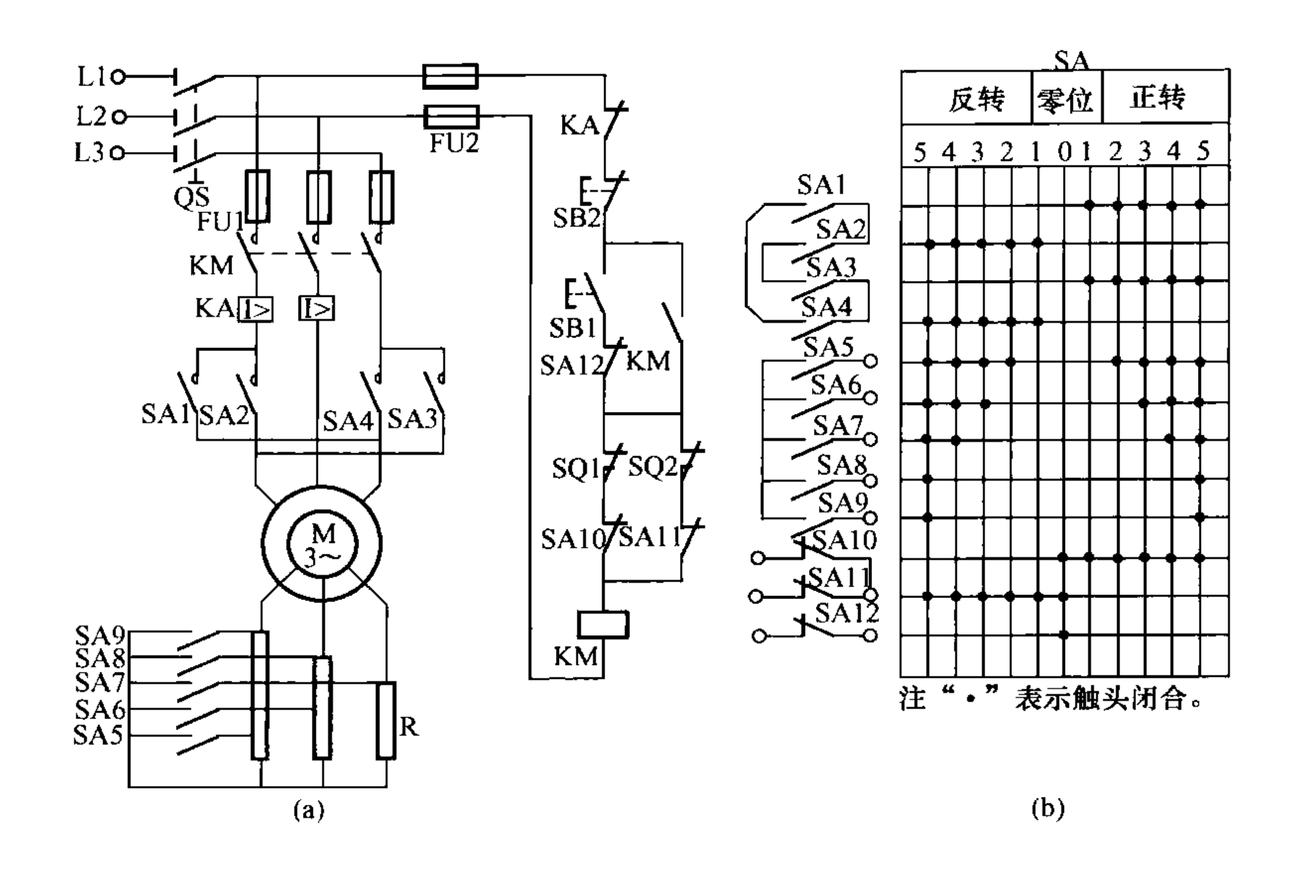


图 2-78　手动可逆起动、调整凸轮控制器控制线路

（a）控制线路；（b）触头分合表

一种阻抗值随转子电流频率明显变化的电气器件，它的阻抗值能随着电流频率的下降而自动减少，直至被短路后等于零。所以采用频敏变阻器就不需要分级切换电阻，却可以平稳地起动电动机，因而它是绕线转子异步电动机较为理想的一种起动阻抗器。频敏变阻器常用的接法有图 2-79 中（a）、（b）、（c）几种。

例 2-80　中间继电器、时间继电器控制的频敏变阻器起动控制线路

图 2-80 所示即为中间继电器、时间继电器控制的频敏变阻器起动控制线路。该线路由接触器 KM1、KM2，中间继电器 KA、时间继电器 KT 及热继电器 KTH 等电器组成。起动时按下起动按钮 SB1，接触器 KM1 得电被接通，同时并接通时间继电器 KT，这时电动机转子电路串入频敏变阻器起动。当时间继电器 KT 达到设定时间后，中间继电器 KA 获电动作，使 KM2 也得电动作，其常闭触点断开，至使时间继电器 KT 断电，其常

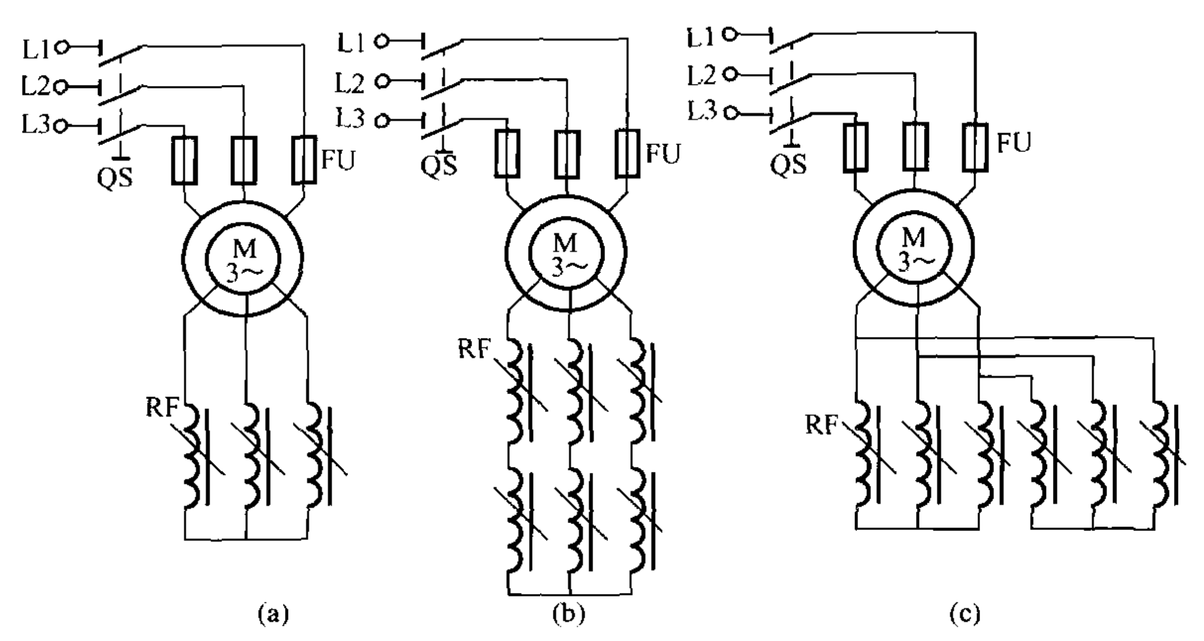


图 2-79　频敏变阻器的串、并联接法

(a) 单组接法；(b) 两组串接法；(c) 两组并接法

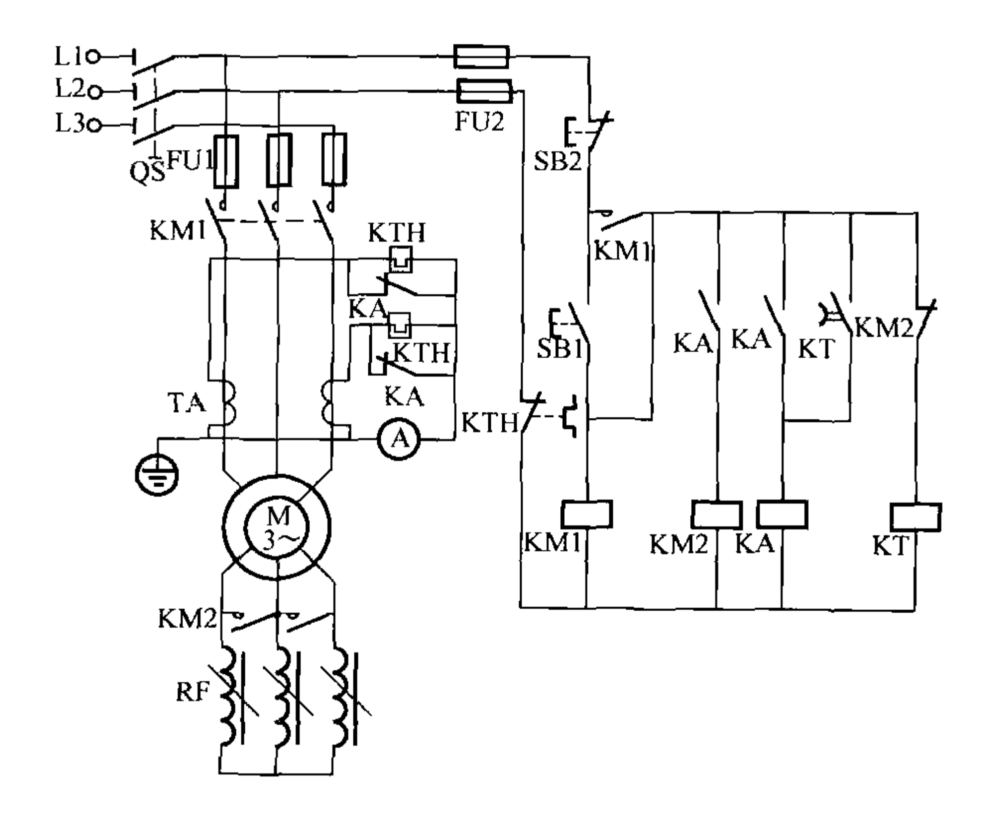


图 2-80　中间继电器、时间继电器控制的频敏变阻器起动控制线路

开触点闭合，将频敏变阻器短接，至此起动过程结束，绕线转子异步电动机进入全压额定运行。

例 2-81　手动、自动控制转子绕组串频敏变阻器起动控制线路

图 2-81 所示即为手动、自动控制转子绕组串频敏变阻器起

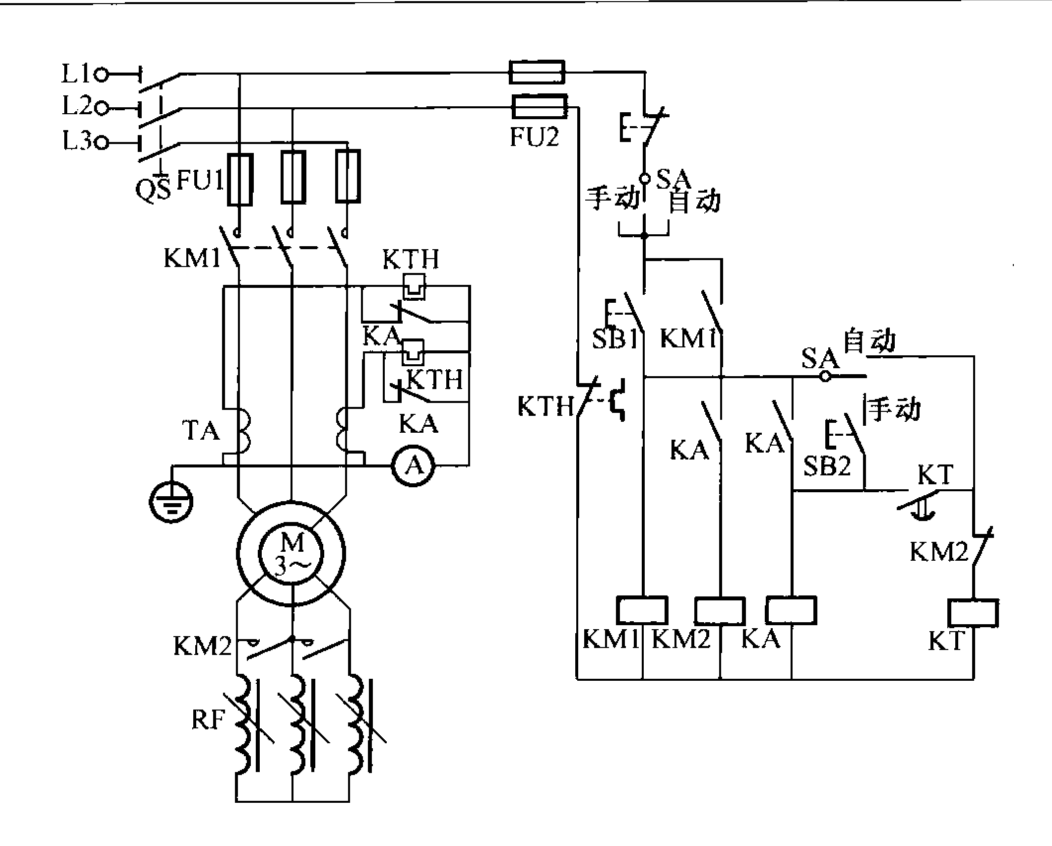


图 2-81 手动、自动控制转子绕组串频敏变阻器起动控制线路

动控制线路。该线路增加一只转换开关 SA，利用它可以实现手动控制和自动控制这两种形式。采用自动控制时即将转换开关 SA 扳到自动位置，于是时间继电器将起作用而自动控制起动过程。起动时，中间继电器 KA 将热继电器 KTH 的热元件短接起来，以免因起动时间过长至使热继电器过热而产生误动作，电流互感器 TA 的作用则是将主电路中的大电流转换成小电流，以便串入热继电器 KTH 对电动机进行过载保护。若将转换开关扳到手动位置后，时间继电器就不起作用了，这时即可用按钮 SB2 手动控制。

例 2-82 按钮控制转子绕组串接频敏变阻器可逆起动控制线路

图 2-82 所示即为按钮控制转子绕组串接频敏变阻器可逆起动控制线路。该线路由三只按钮 SB1、SB2、SB3 及三个交流接触器 KM1、KM2、KM3 所组成，两只组合按钮 SB2、SB3 与接触器 KM1、KM2 的辅助触点构成双重联锁。热继电器 KTH 提供过载保护，以使线路安全可靠地运行。

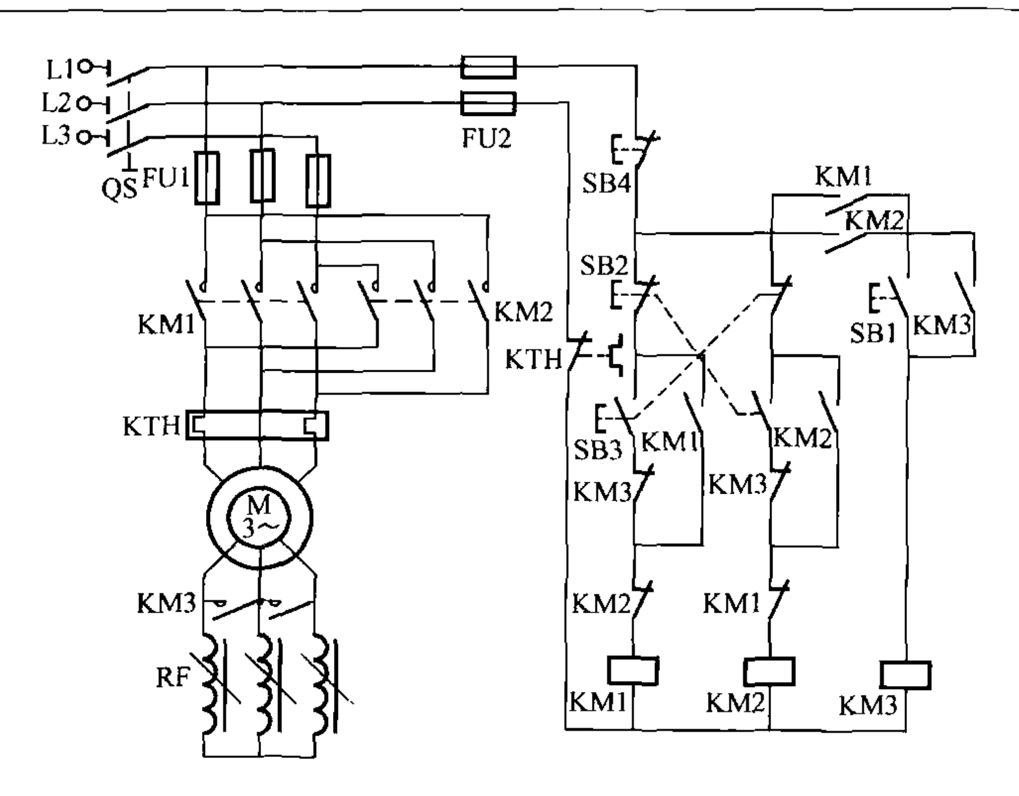


图 2-82　按钮控制转子绕组串接频敏变阻器可逆起动控制线路

例 2-83　时间继电器控制转子绕组串接频敏变阻器可逆起动控制线路

图 2-83 所示即为采用时间继电器控制转子绕组串接频敏变阻器控制线路。该线路通过一个时间继电器 KT 及三个交流接触

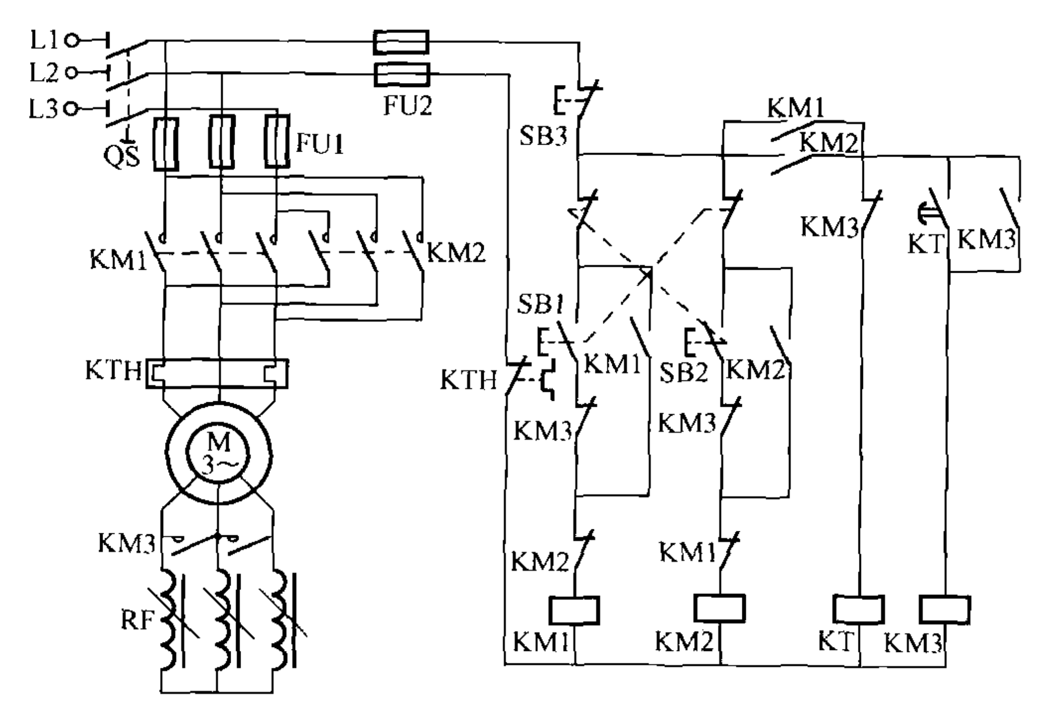


图 2-83　时间继电器控制转子绕组串接频敏变阻器可逆起动控制线路

器 KM1、KM2、KM3 的配合，对电动机转子绕组串接频敏变阻器可逆起动进行了控制，热继电器 KTH 则提供过载保护，电动机得到安全稳定的运行。

第 4 节　继电保护与制动控制线路

为使电动机能够安全可靠地运行，一般均在电动机的控制线路中设置有过载保护和短路保护等电气保护装置。同时为了克服电动机停机后惯性运转对生产机械所带来的不利影响，控制线路中通常还设置有能使电动机克服惯性迅速停机的制动措施。

例 2-84　安全低压控制线路

图 2-84 所示即为采用安全低压的控制线路。一般在潮湿而易于发生漏电的地方，以及操作环境条件恶劣的场所，为保证操作者的人身安全而采用安全电压去控制线路的方式，在工矿企业得到广泛应用。该线路即为一种安全控制线路，若当身体接触按钮时，即使按钮有漏电现象，则就不会造成触电危险。因控制线路是一台安全行灯变压器供电，其输出电压只有 36V 故对人身是安全的。为此，交流接触器线圈也已改为 36V 的电压。

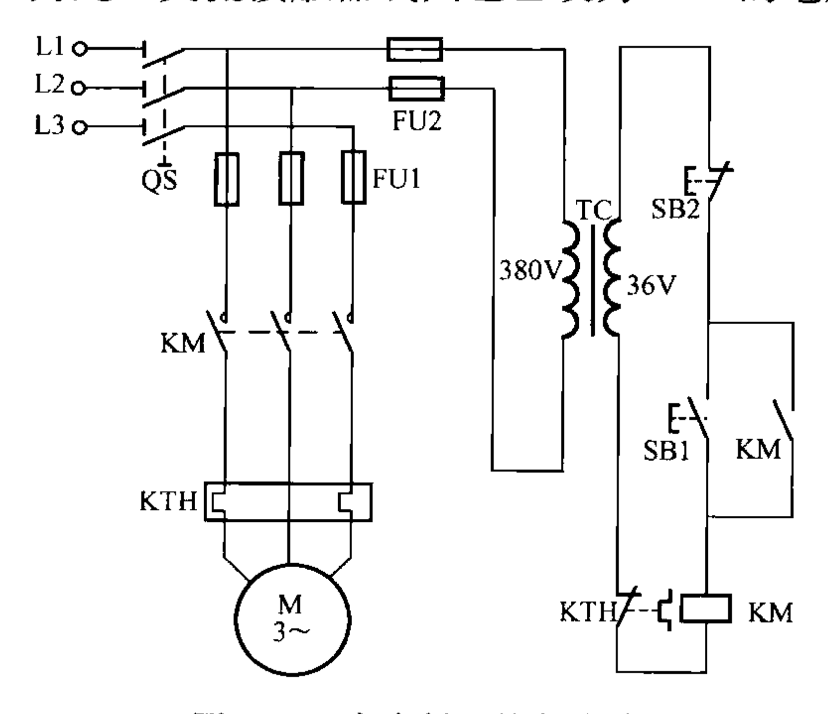


图 2-84　安全低压控制线路

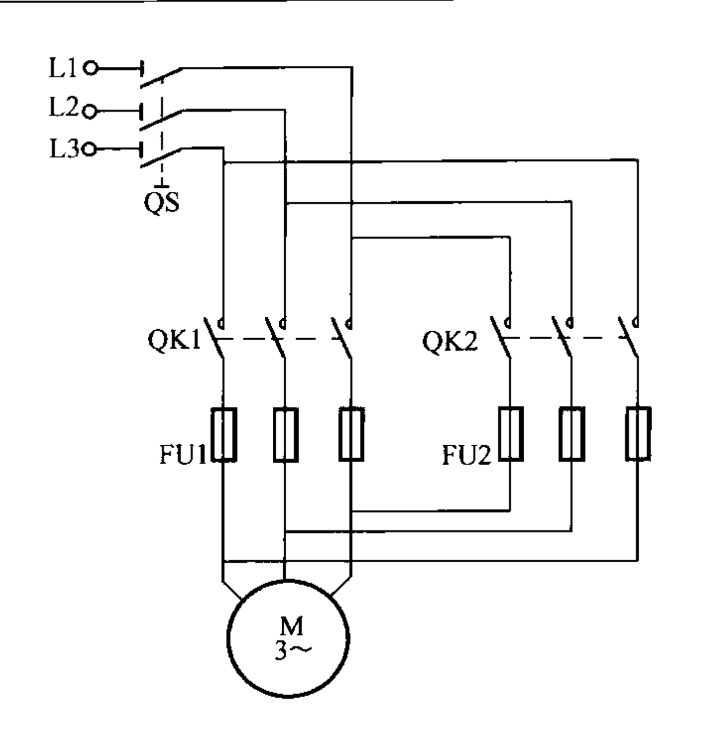


图 2-85　双闸刀开关保护控制线路

例 2-85　双闸刀开关保护控制线路

图 2-85 所示即为双闸刀开关保护控制线路。该线路在起动时先合上起动闸刀开关 QK2，它的熔丝额定电流可以选为电动机额定电流 1.5～2.5 倍，运行闸刀开关 QK1 熔丝则可选择为电动机的额定电流即可。

例 2-86　热继电器过负载保护控制线路

图 2-86 所示即为采用热继电器过负载保护控制线路。通常为防止电动机过负载运行而损坏，大多将热继电器与接触器、降压起动器或自动开关成套组装，使其能方便地在起动、运行过程

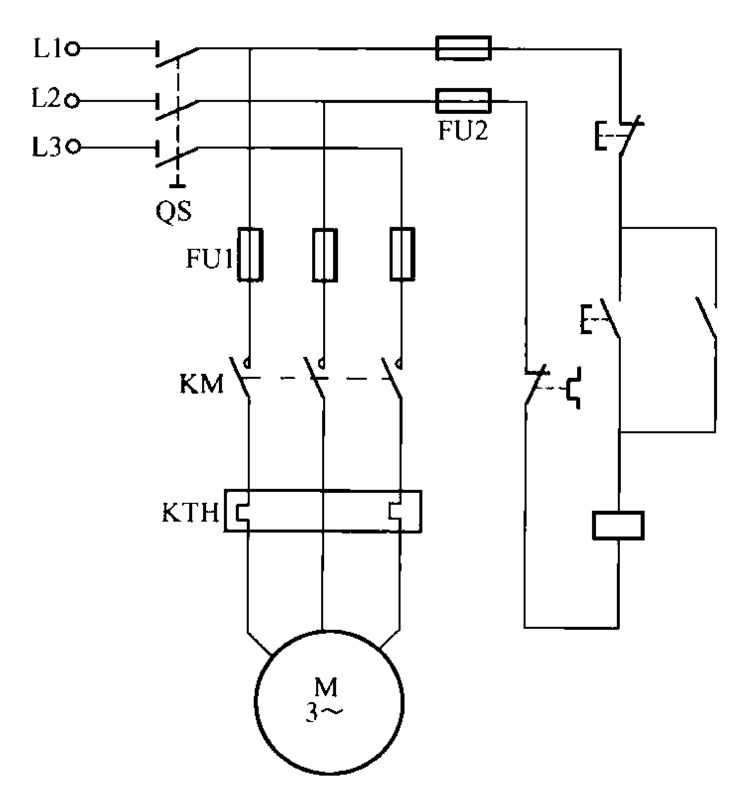


图 2-86　热继电器过负载保护控制线路

中可靠地保护电动机。

例 2-87　电流互感器、时间继电器过载保护线路

图 2-87 所示为采用电流互感器、时间继电器组成的过载保护线路。该线路使用一只电流互感器来感应电流，当电动机电流出现超过正常工作电流时，电流继电器达到吸合电流而动作，从而断开主电路保护电动机在过电流时脱离电源。线路中已将时间继电器的常闭触点先短接电流互感器，以避开电动机起动时起动电流的冲击。

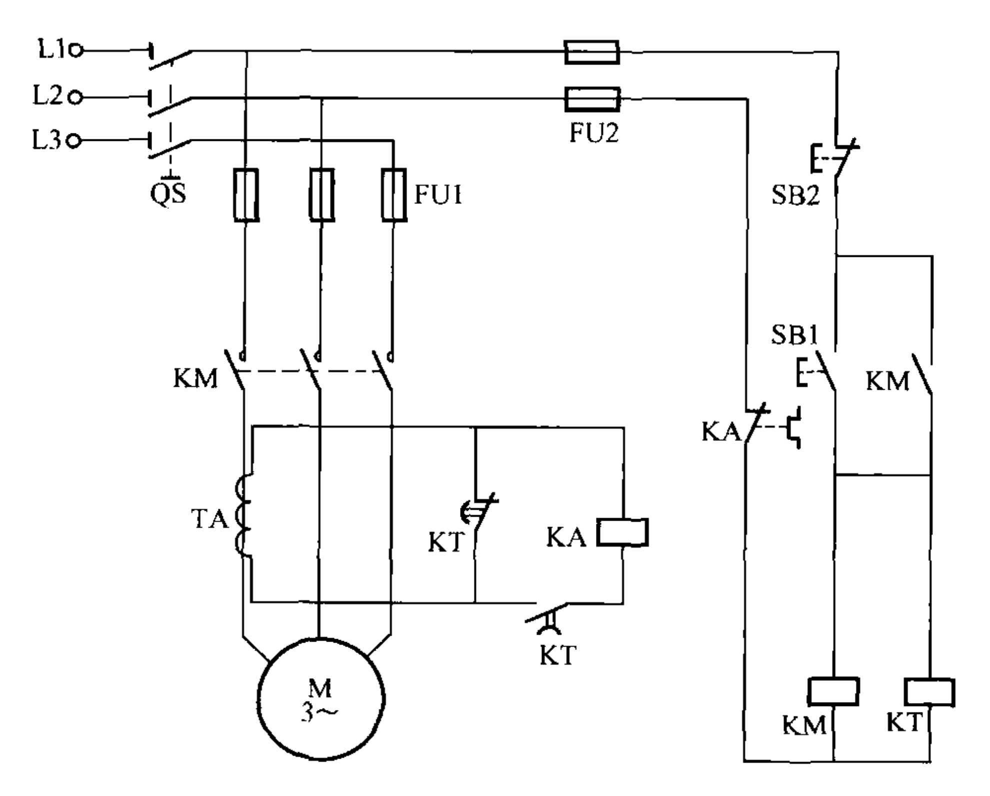


图 2-87　电流互感器、时间继电器过载保护线路

例 2-88　电流互感器、热继电器过载保护线路

图 2-88 所示即为电流互感器、热继电器过载保护线路。该线路主要用于较大容量电动机的过载保护，热继电器接在电流互感器的二次侧，经电流互感器 TA 将大电流转换成小电流，而热继电器的热元件串接在 TA 二次侧进行保护。

例 2-89　电动机 Y 形接法的断相保护器线路

图 2-89 所示即为电动机 Y 形接法的断相保护器线路。该线

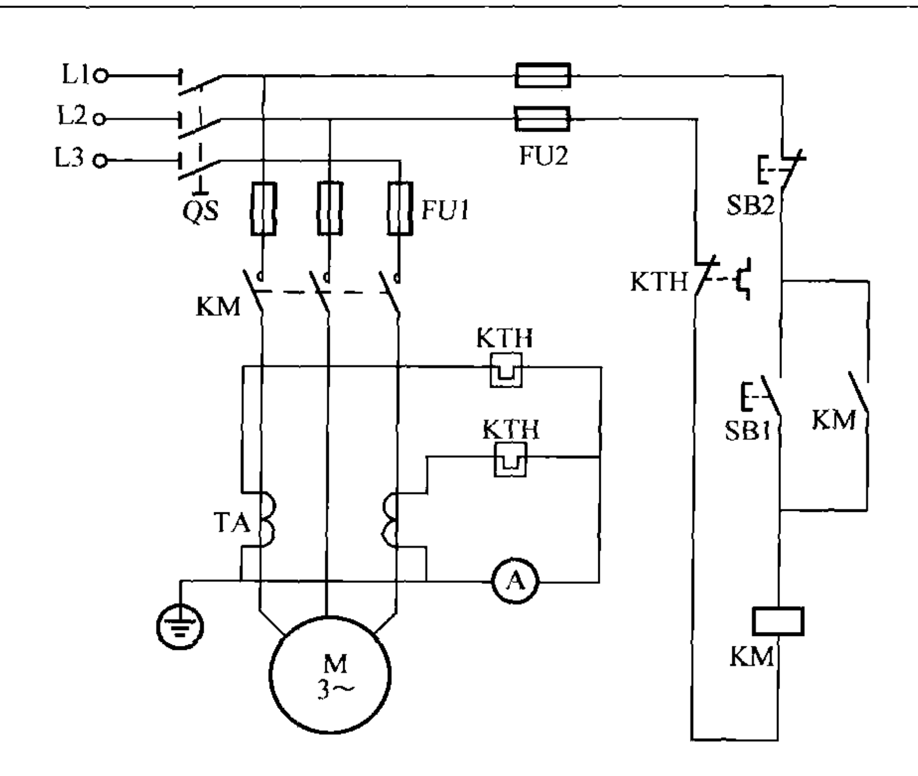


图 2-88　电流互感器、热继电器过载保护线路

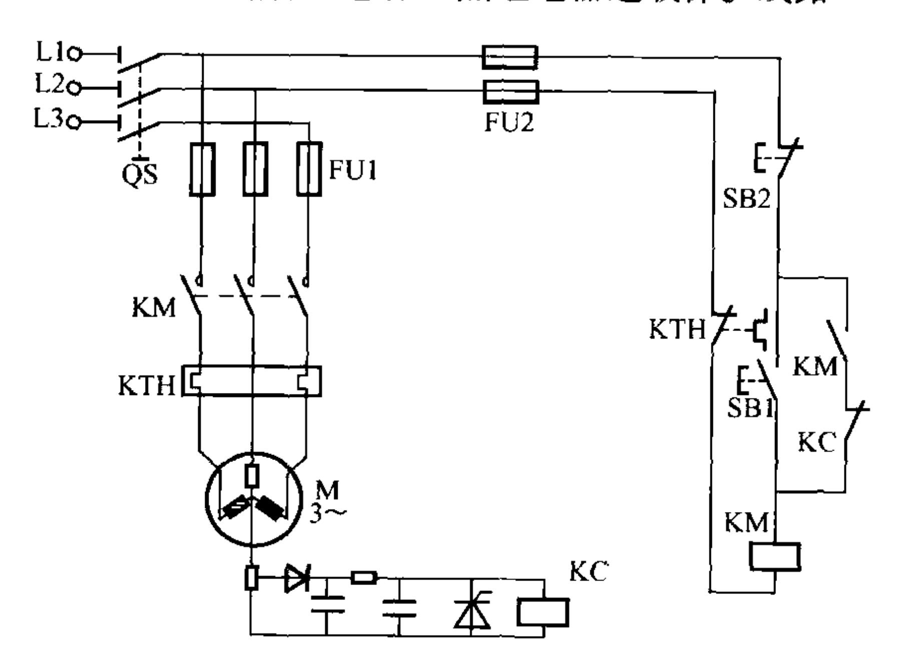


图 2-89　电动机 Y 形接法的断保护器保护线路

路适用功率在几千 kW 以内的电动机保护，它是一种电动机绕组按 Y 形接法额定运行时的断相跳闸保护装置。当电动机在运行时三相电源或三相绕组中若有一相断路，则电动机的中性点将不会保持为零电位，而是与地形成一定的电位差，该电压经整流、稳压后使继电器 KC 得电动作，接触器 KM 失电而断开电源，从而保护电动机绕组不被烧损。

例 2-90　电动机熔断器、继电器断相保护线路

图 2-90 所示即为电动机熔断器断相保护线路。该线路是一种断丝电压保护线路，即当熔丝（保险丝）熔断后，熔丝两端将产生电压，这时与其并联的继电器 KV1、KV2、KV3 动作，使接触器 KM 失电脱开主电路电源，电动机即停止运行，从而保护了电动机。继电器 KV 一般整定在 60V 动作即可。该线路适用于熔断熔丝时产生的断相运行保护。

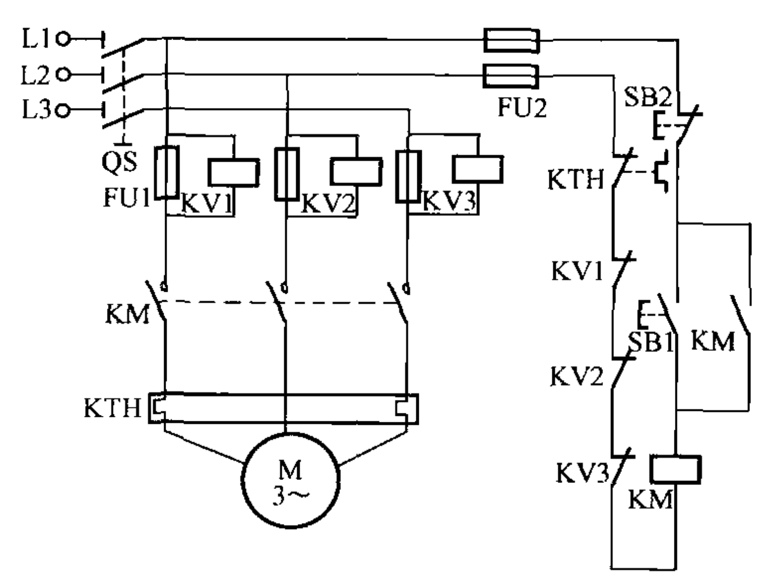


图 2-90　电动机熔断器、继电器断相保护线路

例 2-91　欠流继电器断相保护线路

图 2-91 所示即为采用欠流继电器的电动机断相保护线路。

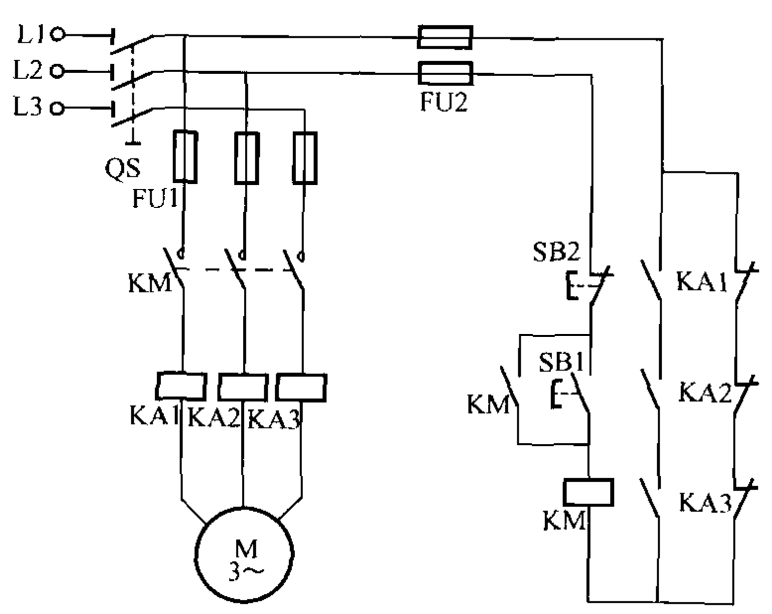


图 2-91　欠流继电路断相保护线路

该线路的电气保护元件是三只欠电流继电器 KA1、KA2、KA3。电动机在运行中，如果任一相电流大幅减小或消失，则串接在该相线路上的继电器 KA 就会动作，并切断控制回路。此种线路的特点是保护比较可靠。但由于要使用三只欠流继电器，因而价格比较贵。

例 2-92　简单零序电压断相保护线路

图 2-92　所示为简单零序电压断相保护线路。由于采用 Y 形接法的电动机绕组中性点对地电压为零，而当电动机的三相中某一相断电时就会使其中性点电位产生偏移，就与地的零电位点存在电位差。因此，如在此点与地之间接一个 18V 的继电器，即可起到对电动机的断相保护作用。此线路简单可行，是一种较为单台电动机采用的保护方法。

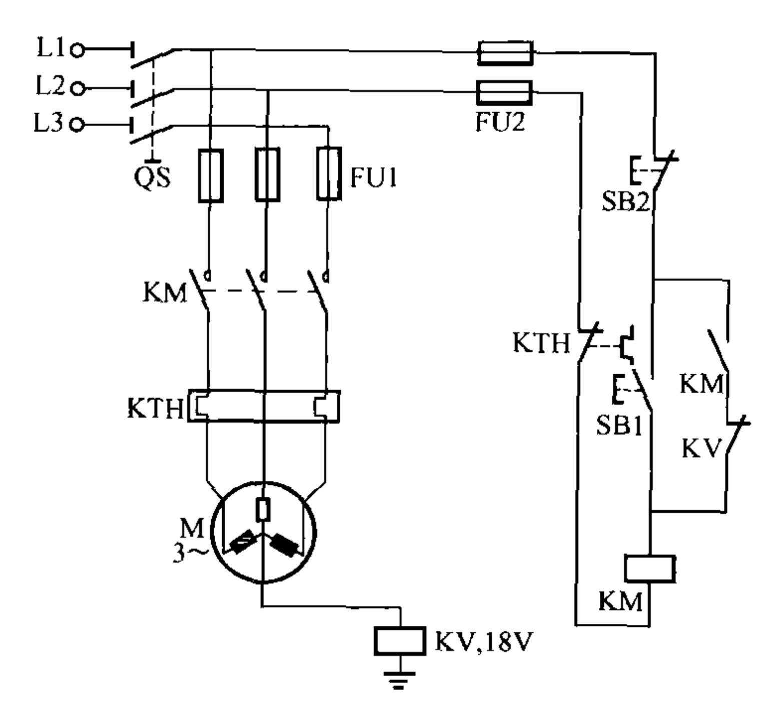


图 2-92　简单零序电压断相保护线路

例 2-93　带中间继电器的简易断相保护线路

图 2-93 所示即为带中间继电器的简易断相保护线路。从该线路中可以看出，电动机控制电路的电源一般均从两相主电路引入，这样就有造成电动机两相运行的可能。如果在普通的电动机控制线路中加装一只工作电压为 380V 的中间继电器 KA，以使

KA在L3有电时其常开触点才能闭合，从而保证只有在L1、L2、L3三相都有电时，交流接触器KM才能得电工作，这样就起到了电动机断相保护的作用。此线路适用于电动机负载较重的工作场合，电动机负载较轻时则其可靠性较差，故不宜采用。

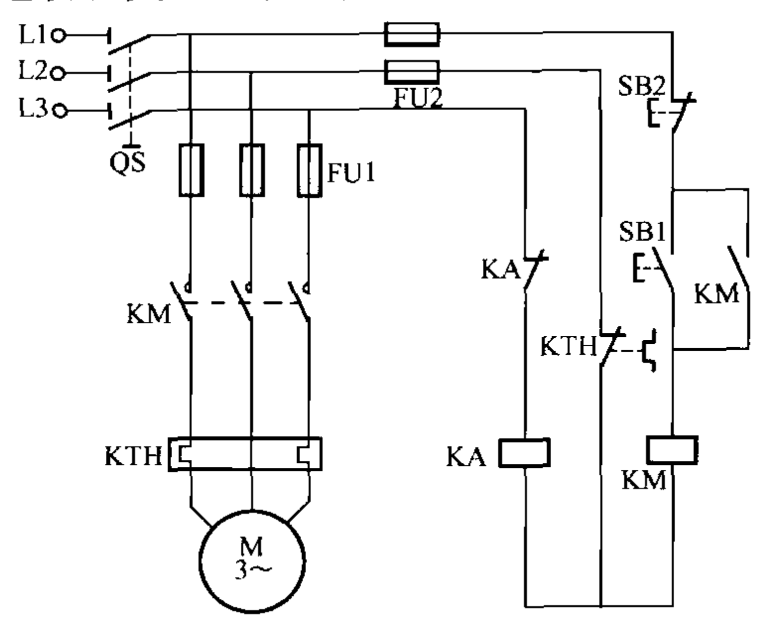


图2-93 带中间继电器的简易断相保护器

例2-94 电动机节电型断相保护线路

图2-94所示即为电动机节电型断相保护线路。该线路在△形连接的电动机定子绕组三相电源接线上各用导线引出，分别去接在电容器C上，并通过这三只电容器使其接成一个人为的中

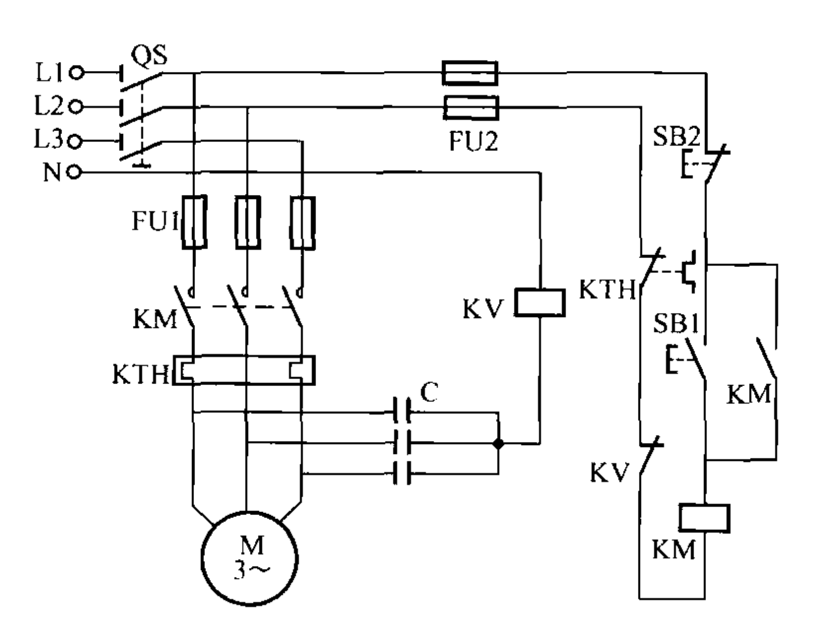


图2-94 电动机节电型断相保护线路

性点。电动机正常运行时，这个中性点电压也即为零，与三相四线制的中性点电位一致，故此两点无电压输出，继电器 KV 因而不动作。当电动机电源某相断电时，则该中性点的电压会明显上升，电压高达 12V 时继电器 KV 动作，将接触器 KM 控制回路切断，从而起到保护作用。三只电容器在电网又能起到提高功率因数的节电作用。

例 2-95　节电式断相保护器控制线路

图 2-95 所示即为节电式断相保护器控制线路。该断相器是在电动机三相电源上投入三只电容器运行工作，因电容器在低压交流电网上能够起到无功功率补偿作用，故断相保护器还能提高电动机的功率因数。该线路动作灵敏，当电动机缺相后小于或等于 1s 时，继电器 KV 便会动作。它适用于“Y”形连接和“△”形连接的电动机，并且对电动机轻、重负载均能适应。

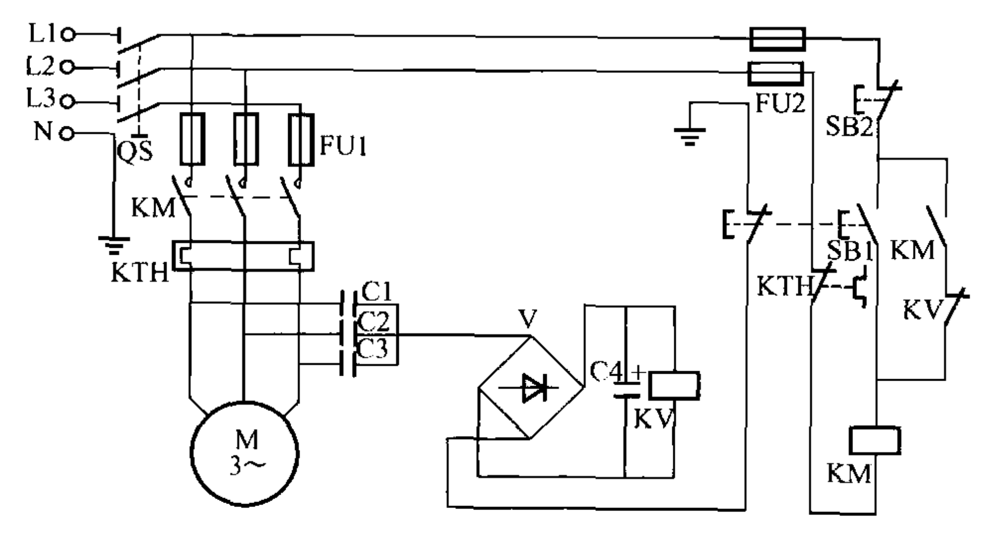


图 2-95　节电式断相保护器控制线路

例 2-96　电动机保安接地电气线路

图 2-96 所示即为电动机保安接地电气线路。若将电动机的金属外壳用导线接地称为保安接地，它可以保证工作人员的安全。当电动机绝缘损伤外壳漏电时，所产生的大电流会使电动机的保险丝因高温而熔断，从而保证了人身安全。采用保安接地保护时，应使接地电阻小于 4Ω，并只能用于小功率电动机。在应用中还须注意，即在同一电网系统内的所有电气设备必须全部采

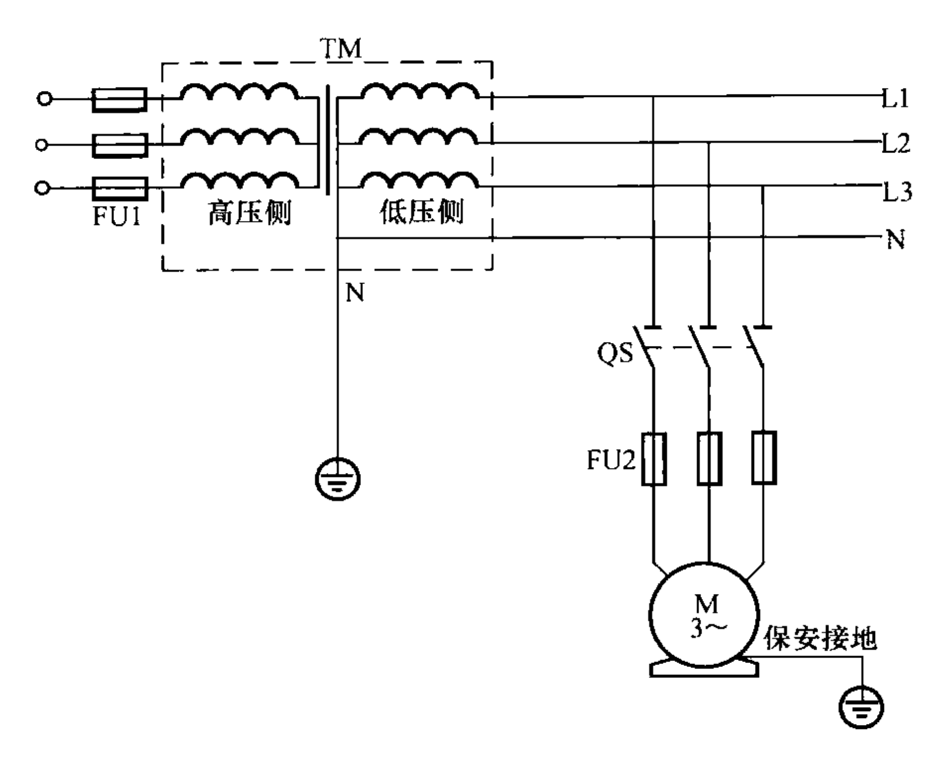


图 2-96　电动机保安接地电气线路

取保安接地。

例 2-97　电动机保安接零电气线路

图 2-97 所示即为电动机保安接零电气线路。将电动机的金属外壳与三相四线制的零线连接，即称为保安接零。当电动机绝缘被损坏，外壳发生漏电现象时，则会在相线、电动机外壳和中

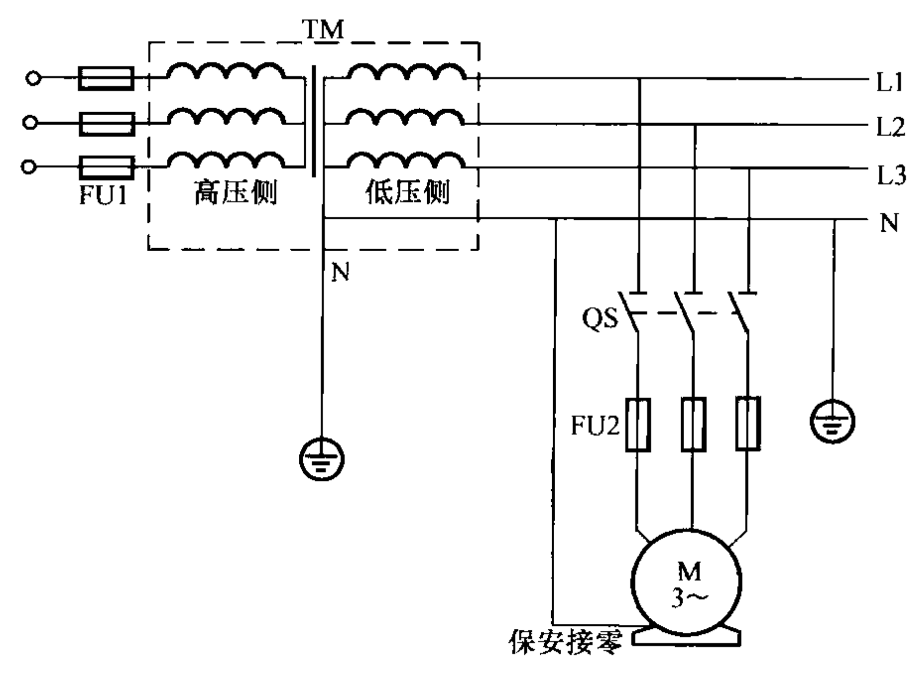


图 2-97　电动机保安接零电气线路

性线间产生短路，而迅速将电动机的保险丝熔断，从而将电源断开以保护人身安全。在采用保安接零方法时，应在同一电网中的所有电气设备均要按保安接零的接法。

例 2-98　简单电压型低压触电保安器电气线路

图 2-98 所示即为简单电压型低压触电保安器电气线路。由于在线路发生触电事故时，电流经零序电流互感器、人体、大地到中性点构成一闭合回路，这时零序电流互感器线圈将产生电势和电流，这个电流经放大后被送往灵敏继电器，使其得电动作而将串接在接触器 KM 控制回路的触点 KA 打开，使接触器 KM 断开电源，以保人身、设备的安全。

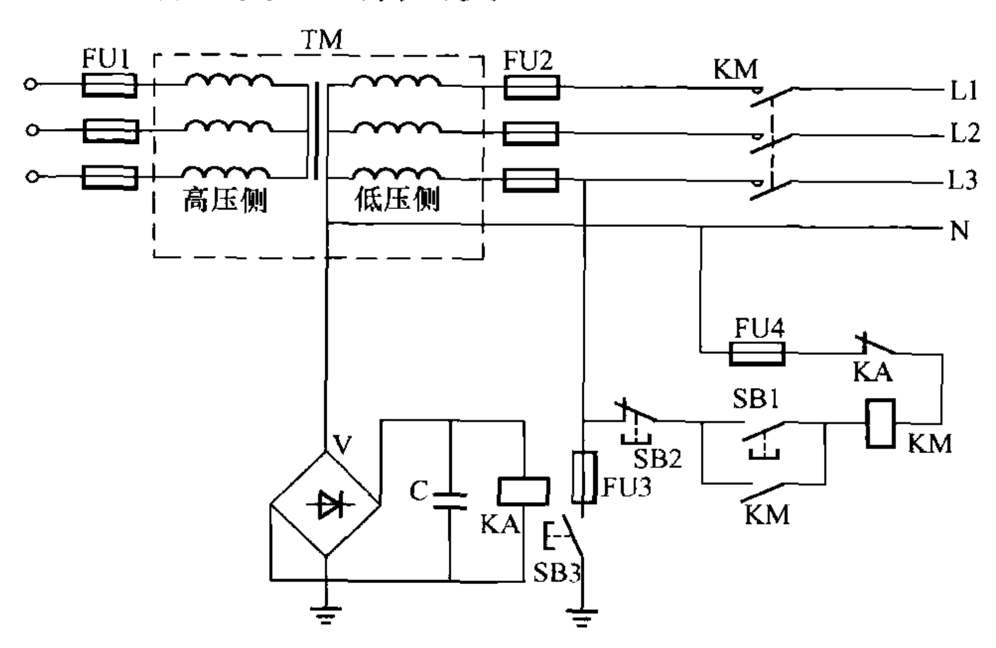


图 2-98　简单电压型低压触电保安器电气线路

例 2-99　通电前处于“抱紧”状态的抱闸制动控制线路

图 2-99 所示即为通电前处于“抱紧”状态的抱闸制动控制线路。当电动机切断电源后，由于惯性作用它总是要经过一段时间才会完全停止转动，但有些被拖动机械却要求迅速停机，因此对电动机就提出了限制惯性快速制动的要求。电动机常见的制动方法有机械制动和电气制动两大类，其中电气制动又分为反接制动、能耗制动、回馈制动等几种。所谓机械制动，就是利用外加的机械作用力使电动机在断电后转子迅速停止转动的一种方法。

一般多采用电磁抱闸的方式制动，这种抱闸制动在平时有“抱紧”和“松开”两种状态，因而两种的控制线路也就各不相同。本图为平时一直处于“抱紧”状态的电动机制动控制线路。

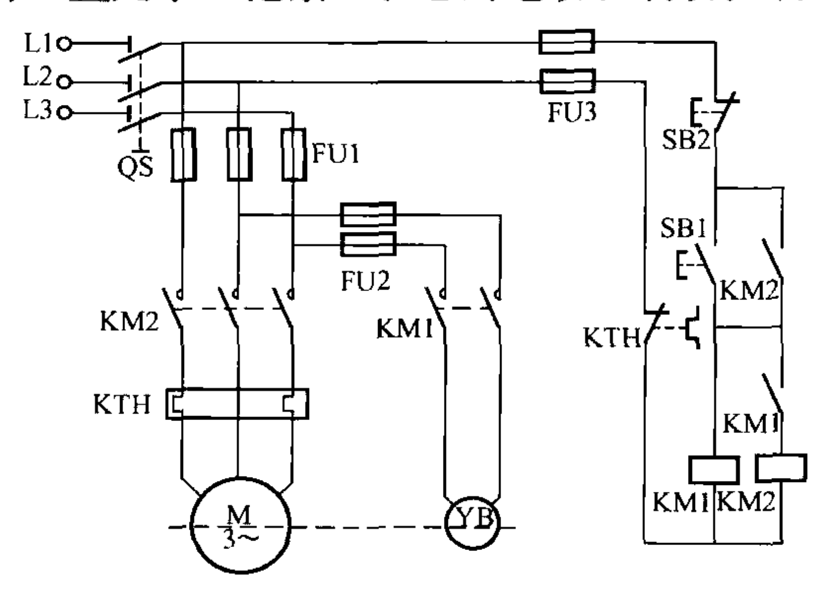


图 2-99 通电前处于“抱紧”状态的抱闸制动控制线路

例 2-100 通电前处于“松开”状态的抱闸制动控制线路

图 2-100 所示即为通电前处于“松开”状态的抱闸制动控制线路。该线路当按下起动按钮 SB1 时，交流接触器 KM1 得电接通电源，电动机开始起动运转。若按下停止按钮 SB2 时，交流

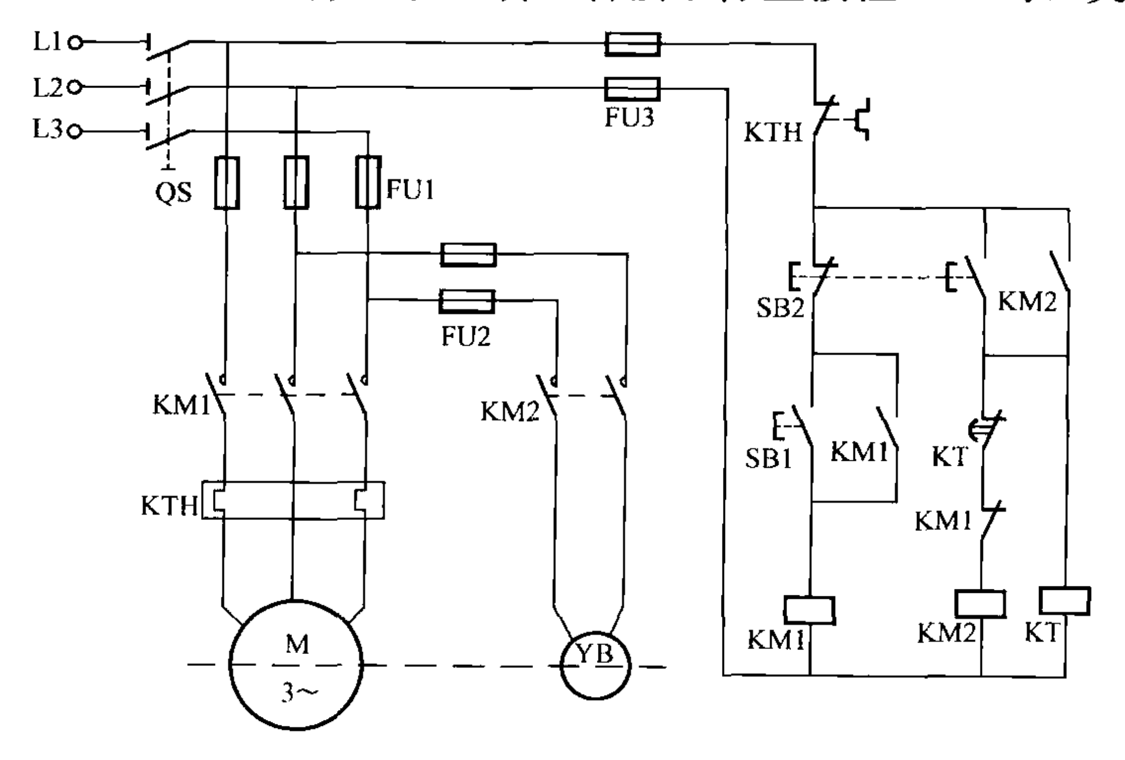


图 2-100 通电前处于“松开”状态的抱闸制动控制线路

接触器 KM1 切断电动机的电源，并同时又使 KM2 接通电磁抱闸 YB 将电动机转轴“抱紧”，使其迅速制动停下来。

例 2-101 可逆点动控制的简单短接制动控制线路

图 2-101 所示即为可逆点动控制的简单短接制动控制线路。

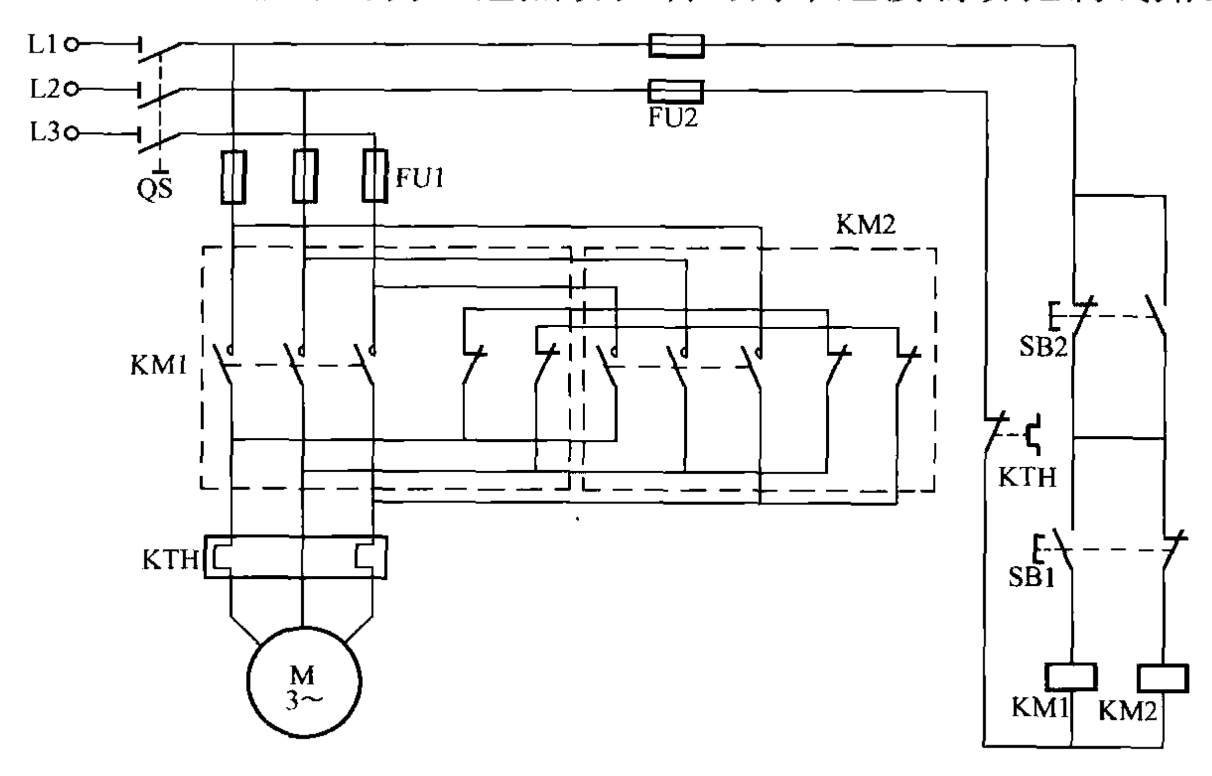


图 2-101 可逆点动控制的简单短接制动控制线路

该线路采用两只交流接触器来变换电源相序以使电动机作可逆运行。同时利用两接触器 KM1、KM2 的两对常闭触点作为制动时的短接点，使电动机绕组产生制动力矩进行制动。此种制动方法可应用于正、反转制动要求不高，并且电动机功率在 3kW 以下的工作场合。

例 2-102 电动机自励发电短接制动控制线路

图 2-102 所示即为电动机自励发电短接制动控制线路。该线路将三相绕组中的一相采用自励发电制动，另外两相则为短接制动。这样，即能发挥自励发电制动效果好的优势，又能兼得短接制动线路简单的长处。当电动机停止运转时，交流接触器 KM1 断开，KM2 则接通电源进行自励发电及短接制动，制动过程一结束，时间继电器 KT 即将接触器 KM2 断开。此线路适用于小

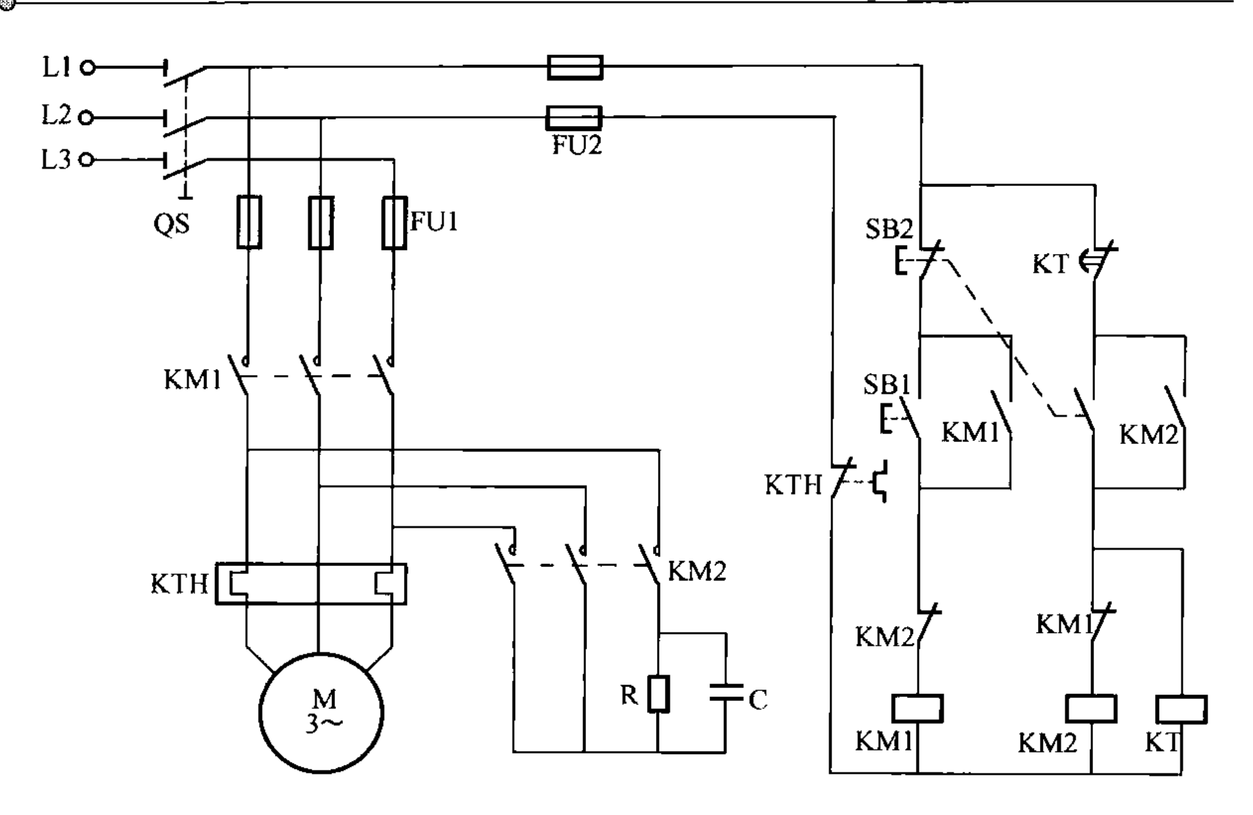


图 2-102　电动机自励发电短接制动控制线路

功率三相异步电动机的制动。

例 2-103　电动机电容制动控制线路

图 2-103 所示即为电动机电容制动控制线路。该线路进行制动时，即按下停止按钮 SB2，交流接触器 KM1 失电断开主电路，

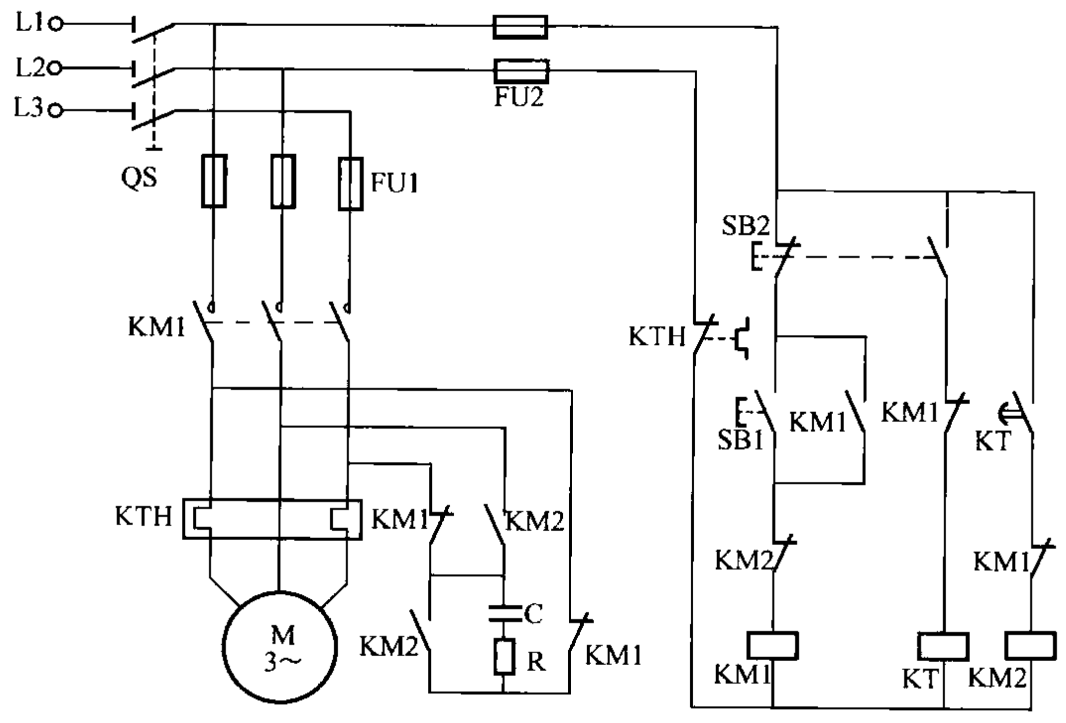


图 2-103　电动机电容制动控制线路

其常闭触点闭合，电容器 C 被接入电动机定子绕组进行电容制动，同时 SB2 常开触点闭合，时间继电器得电动作，其主触点闭合将三相绕组短接制动，使电动机迅速停止运转，制动过程结束后时间继电器 KT 断开。

例 2-104　电动机单向运行反接制动控制线路

图 2-104 所示即为电动机单向运行反接制动控制线路。该线路是采取改变电动机电源的相序，来进行反接制动的。当相序改变后，电动机定子的旋转磁场方向也随着改变，此时电动机产生的转矩则与原来的转矩相反，因而能起到制动作用。制动时按下停止按钮 SB2 则 KM1 断电，其常闭触点闭合，速度继电器 SR 在电动机的惯性作用下其触点仍然闭合，这时接触器 KM2 得电动作，电动机实行反接制动。当电动机转速下降直至停止时，速度继电器 SR 即予断开，接着接触器 KM2 断开，至此制动过程结束。

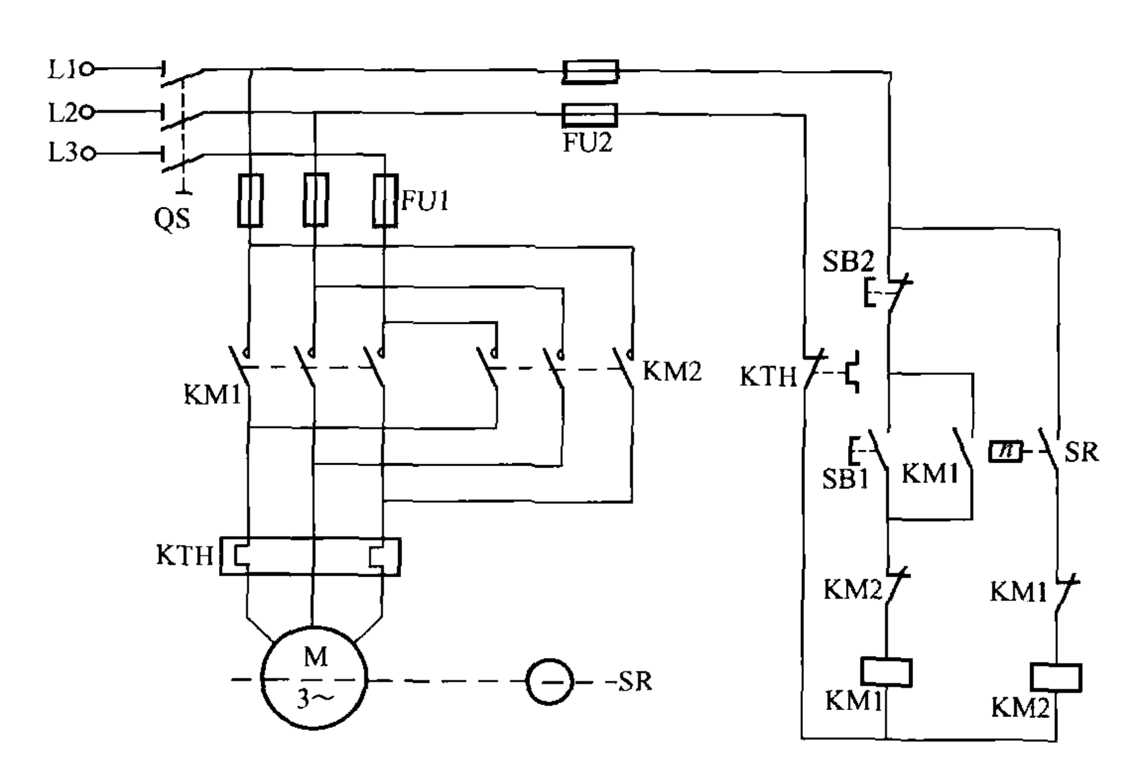


图 2-104　电动机单向运行反接制动控制线路

例 2-105　带不对称电阻的反接制动控制线路

图 2-105 所示即为带不对称电阻的反接制动控制线路。该线路采用不对称电阻法，目的是限制电动机的转矩。三相中未接电

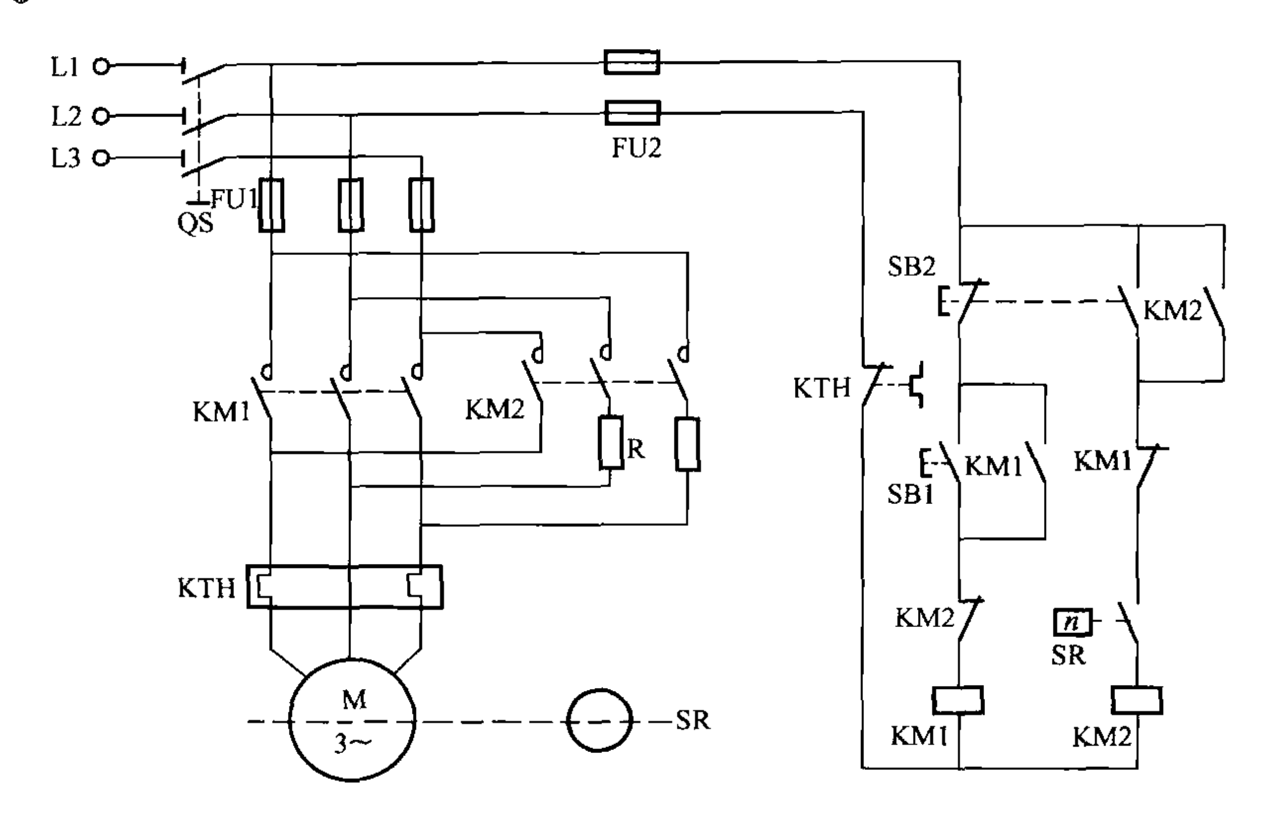


图 2-105　带不对称电阻的反接制动控制线路

阻的一相，显然仍将有较大的制动电流。此线路简单易行，但能耗大、准确性较差，只适用于功率小、不须频繁制动的电动机。

例 2-106　可逆运行反接制动控制线路

图 2-106 所示即为可逆运行反接制动控制线路。该线路在电动机正、反转运行时均可实现反接制动控制。线路中的速度继电

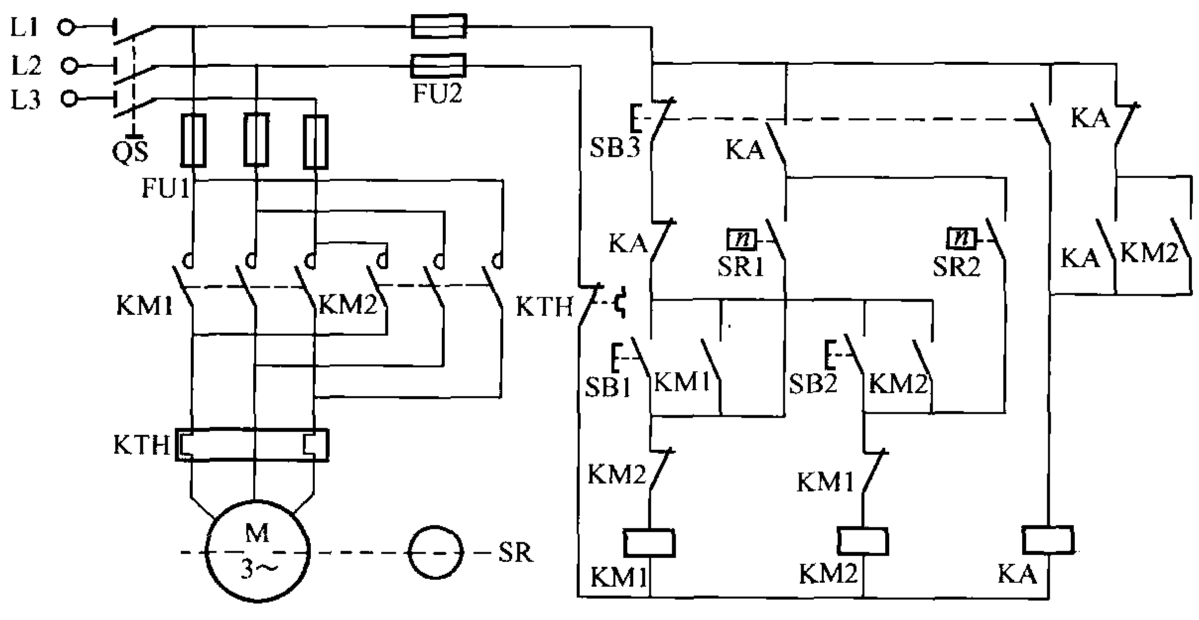


图 2-106　可逆运行反接制动控制线路

器 SR 与电动机一同旋转。它具有 SR1、SR2 两组常开触点，正转时 SR2 闭合，反转时则 SR1 闭合。

例 2-107　带制动电阻的可逆运行反接制动控制线路

图 2-107 所示即为带制动电阻的可逆运行反接制动控制线路。该线路采用三只交流接触器 KM1、KM2、KM3 及两只电流继电器 KA1、KA2，共同组成带制动电阻的可逆运行反接制动控制线路。当功率较大的电动机采用反接制动时，须在主电路中串接适当的反接制动电阻，用以限制反接电流。

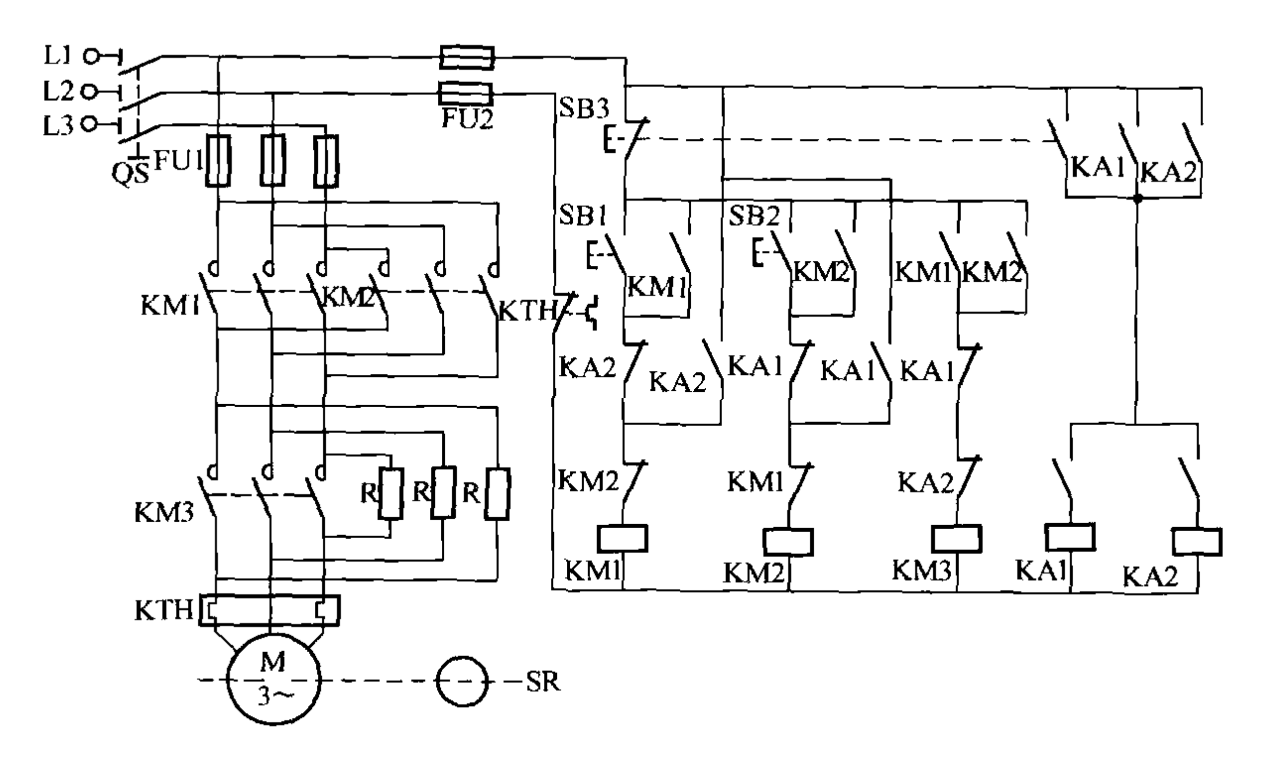


图 2-107　带制动电阻的可逆运行反接制动控制线路

例 2-108　串电阻降压起动及反接制动控制线路

图 2-108 所示即为串电阻起动及接制动控制线路。该线路用中间继电器 KA、速度继电器 SR、三只交流接触器组成，共同去控制该电动机串电阻全压起动及反接制动。

例 2-109　简单型能耗制动控制线路

图 2-109 所示即为简单型能耗制动控制线路。该线路设定为制动时电动机脱离电源，这时立即在定子两相绕组中通入经过整流后的直流，于是定子绕组将产生一个恒定的静止磁场，这个磁

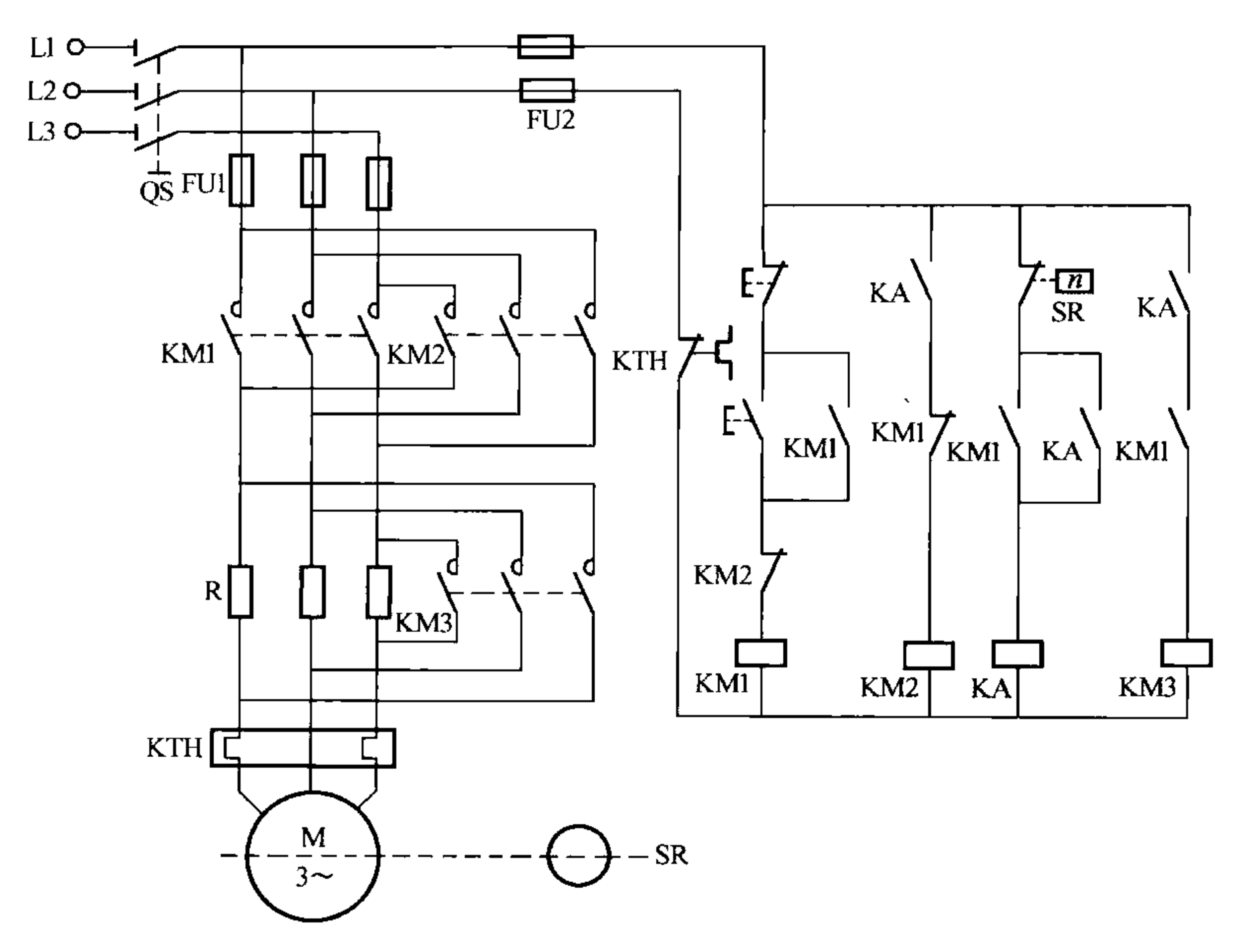


图 2-108　串电阻降压起动及反接制动控制线路

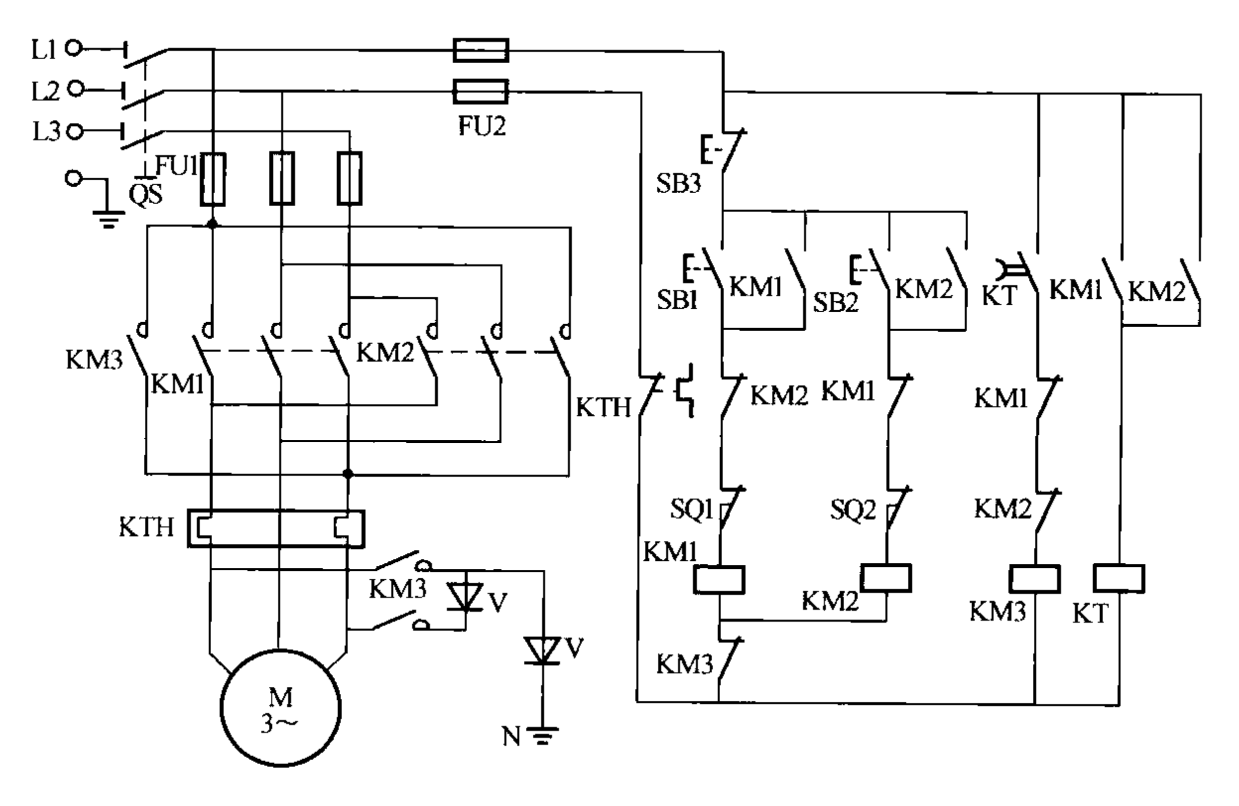


图 2-109　简单型能耗制动控制线路

场与转子作用后即形成制动转矩，从而达到电动机制动的目的。

例 2-110 直流能耗制动控制线路

图 2-110 所示即为直流能耗制动控制线路。该线路是采用二极管组成的单相桥式整流电源供电的直流能耗制动，它主要由接触器、高灵敏继电器 KV、电容器、二极管等组成。其特点为动作可靠、线路简单、维修方便。

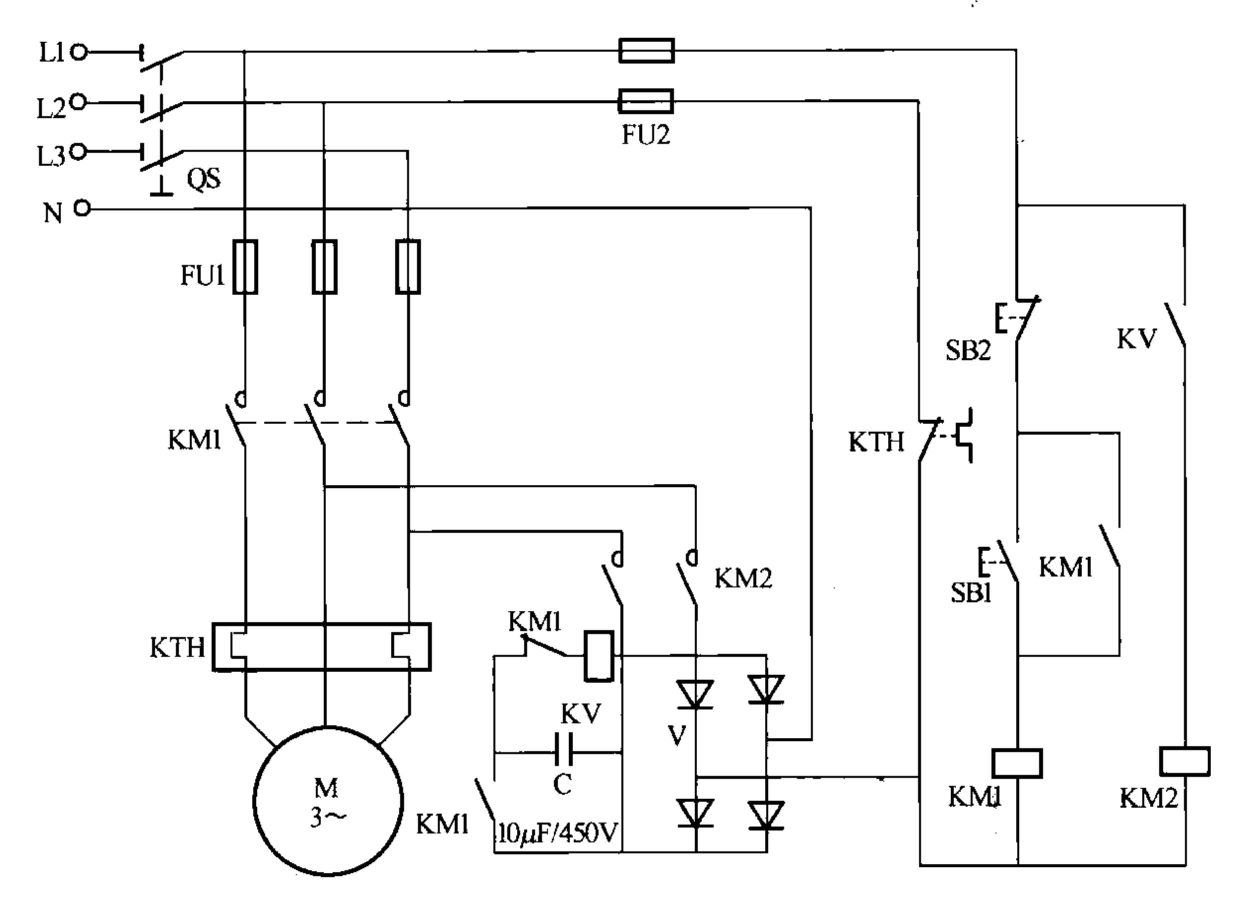


图 2-110 直流能耗制动控制线路

例 2-111 单晶体管半波整流能耗制动自动控制线路

图 2-111 所示即为单晶体管半波整流能耗制动控制线路。该线路采用无变压器单晶体半波整流作为电动机能耗制动的电源，它同时还配置了一只延时继电器 KT 以进行自动控制。工作时按下起动按钮 SB1，接触器 KM1 得电接通电源后电动机即行运转，这时继电器 KT 也得电开始工作。当按下停止按钮 SB2 时，KM1 失电并切断电源。由于继电器 KT 的延时作用，它随之接通了 KM2，使直流电源进入电动机而迅速制动。随后因继电器

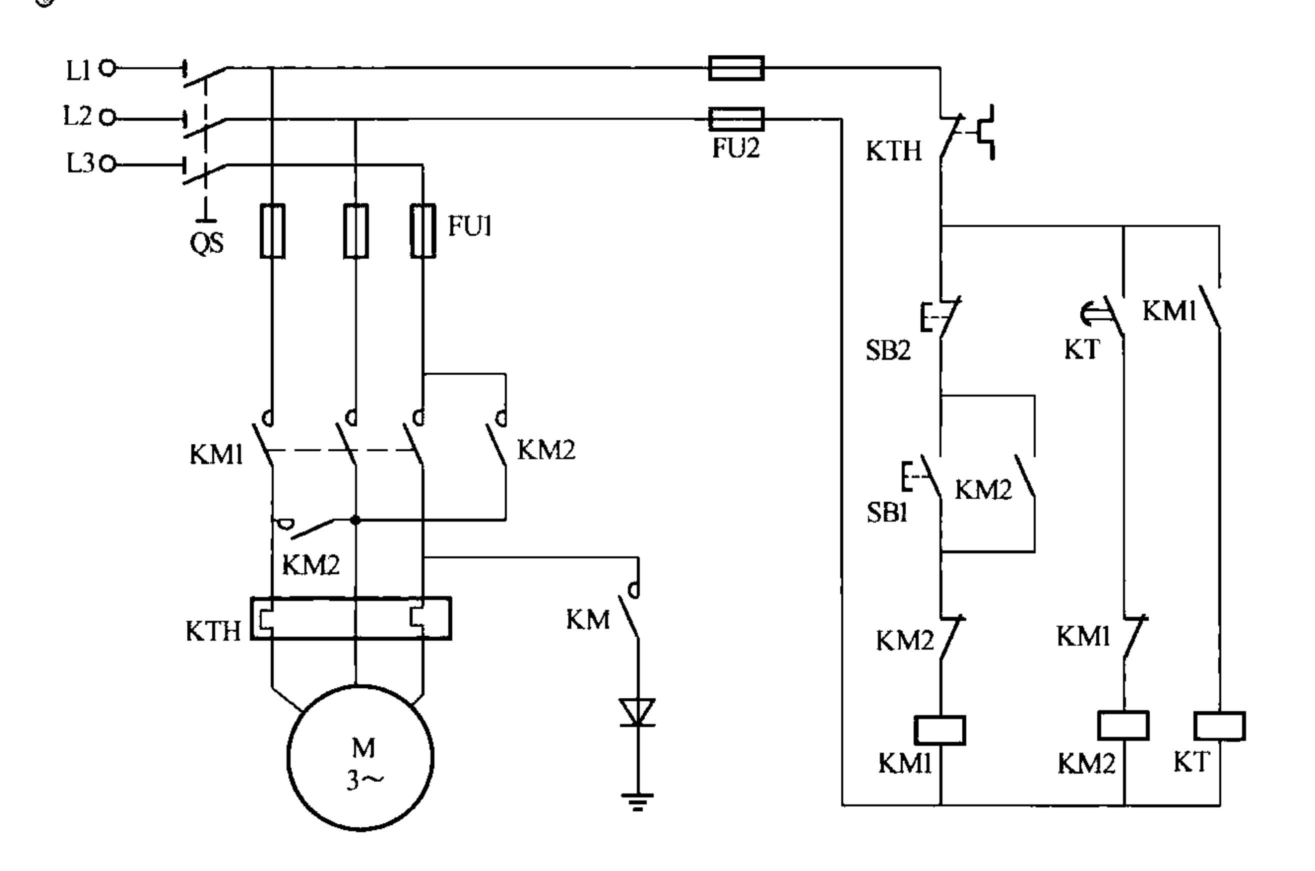


图 2-111　单晶体管半波整流能耗制动自动控制线路

KT 延时结束即切断了 KM2 的控制回路，至使接触器 KM2 失电断开电源，因而制动结束。

例 2-112　单相桥式整流能耗制动控制线路

图 2-112 所示即为单相桥式整流能耗制动控制线路。该线路主要由交流接触器 KM1、KM2、时间继电器 KT、按钮等器件组成，它是将经桥式整流后的直流电接入电动机绕组进行制动的。

例 2-113　三相半波整流能耗制动控制线路

图 2-113 所示即为三相半波整流能耗制动控制线路。当电动机停机制动时，交流接触器 KM2 主触点将电动机三根引线短接，并接入三相半波整流后的直流电源进行制动，时间继电器则延时断开。

例 2-114　时间继电器控制桥式整流能耗制动控制线路

图 2-114 所示即为时间继电器控制桥式整流能耗制动控制线路。电动机进入停机制动时，即按下停止按钮 SB2，于是 KM1、

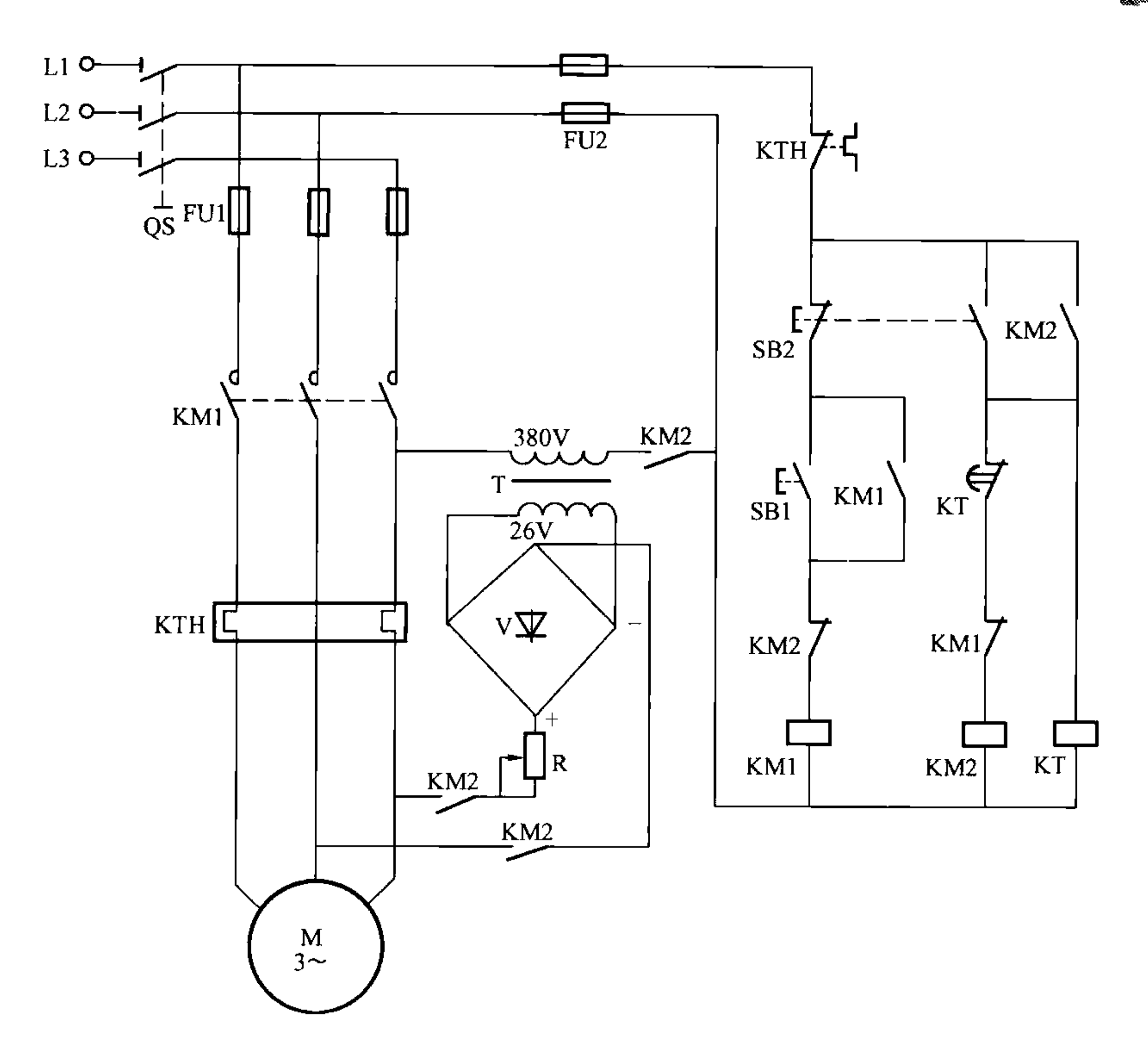


图 2-112　单相桥式整流能耗制动控制线路

KT 均断电，接着 KM2 得电动作，直流电源进入电动机制动，最后 KM2 断电而制动结束。

例 2-115　速度继电器控制的能耗制动控制线路

图 2-115 所示即为速度继电器控制的能耗制动控制线路。由于速度继电器能够自动整定能耗制动时间，因而停机比较准确、制动平稳、效果良好。该线路制动过程为：按下停止按钮 SB2，接触器 KM1 释放使得电动机断开电源。依惯性速度继电器 SR 保持闭合，则接通接触器 KM2 并自锁，经接触器 KM2 的主触点给电动机定子绕组送入直流电，进行能耗制动。这时电动机转速迅速下降，当其转速下降到接近每分钟 100τ 时，速度继电器

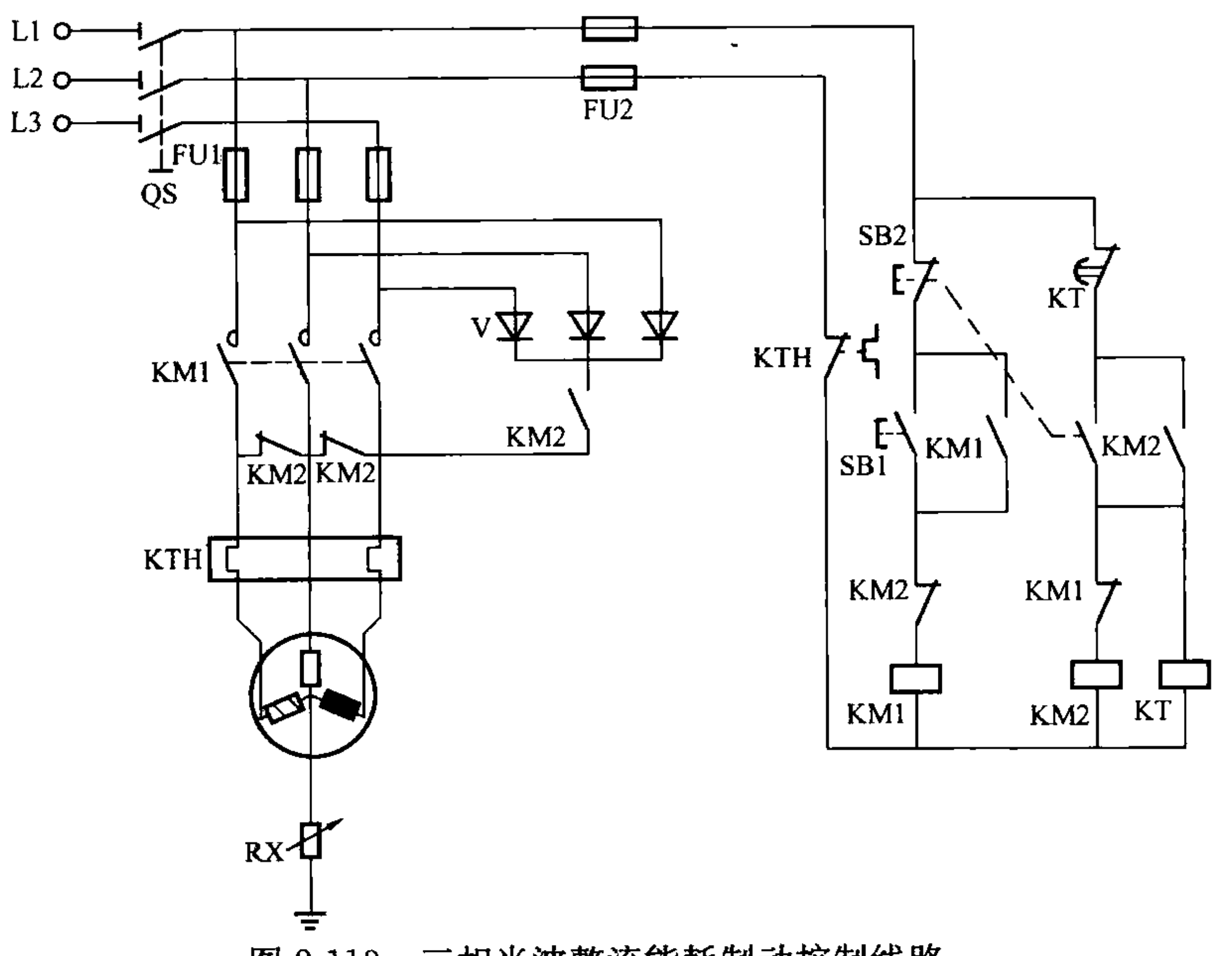


图 2-113 三相半波整流能耗制动控制线路

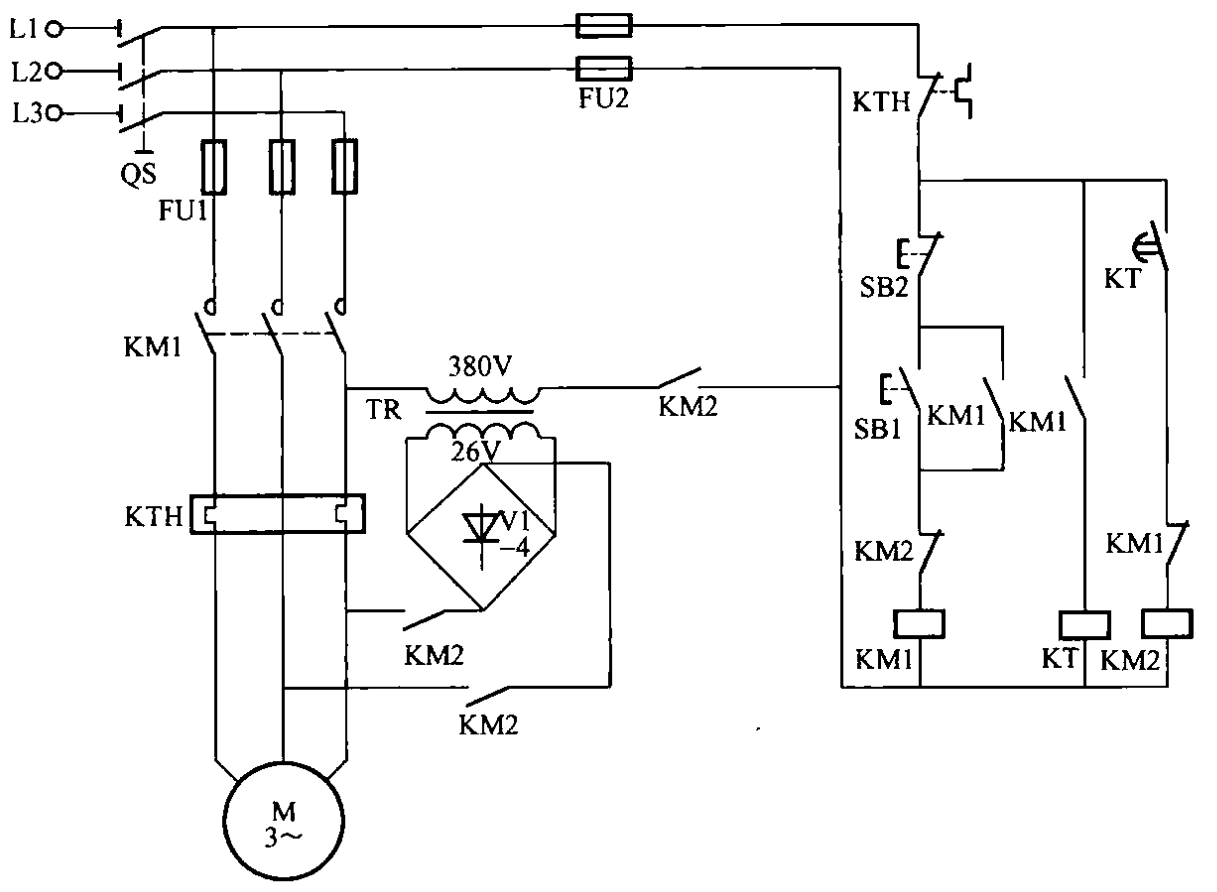


图 2-114 时间继电器控制桥式整流能耗制动控制线路

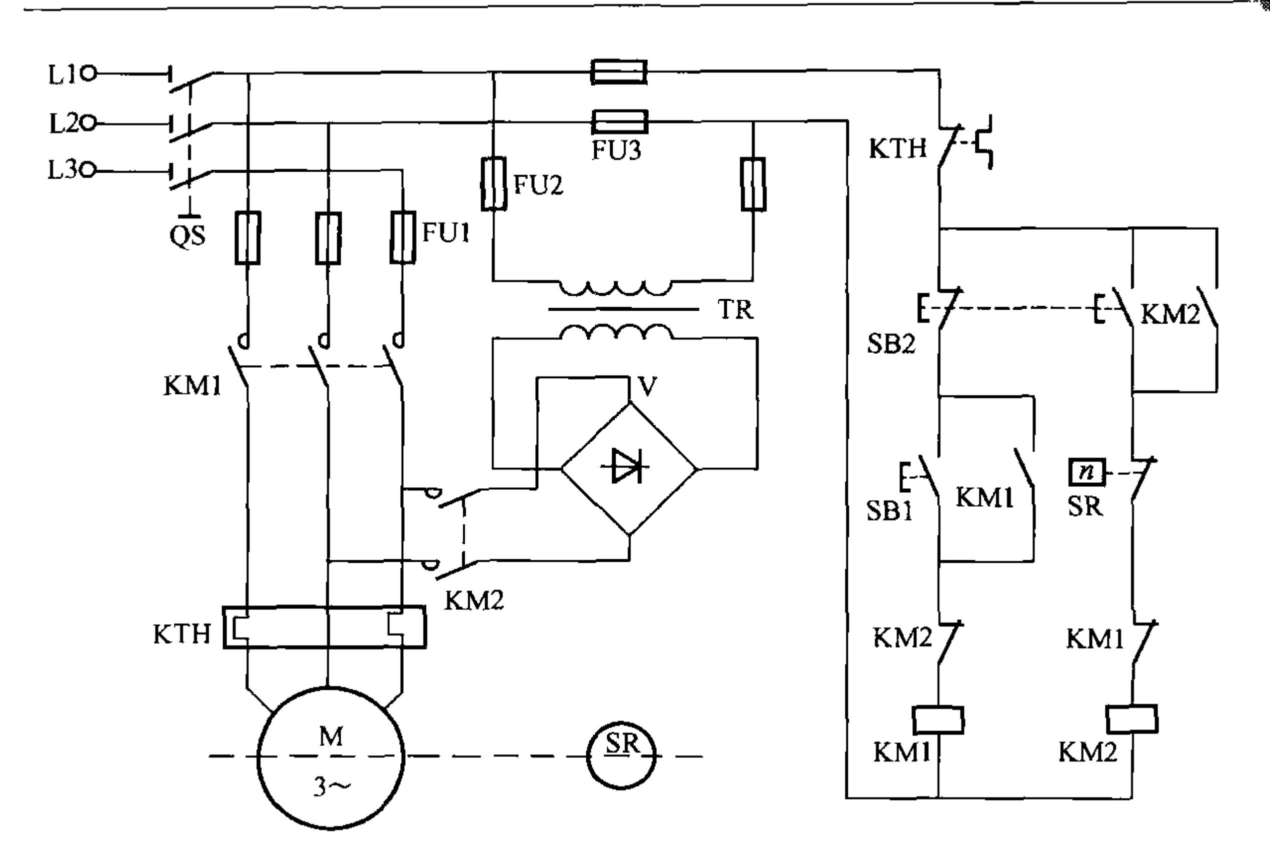


图 2-115　速度继电器控制的能耗制动控制线路

的触点断开，接触器 KM2 因断电而释放，至此则制动过程结束。

例 2-116　时间继电器控制的可逆运行能耗制动控制线路

图 2-116 所示即为时间继电器控制的可逆运行能耗制动控制

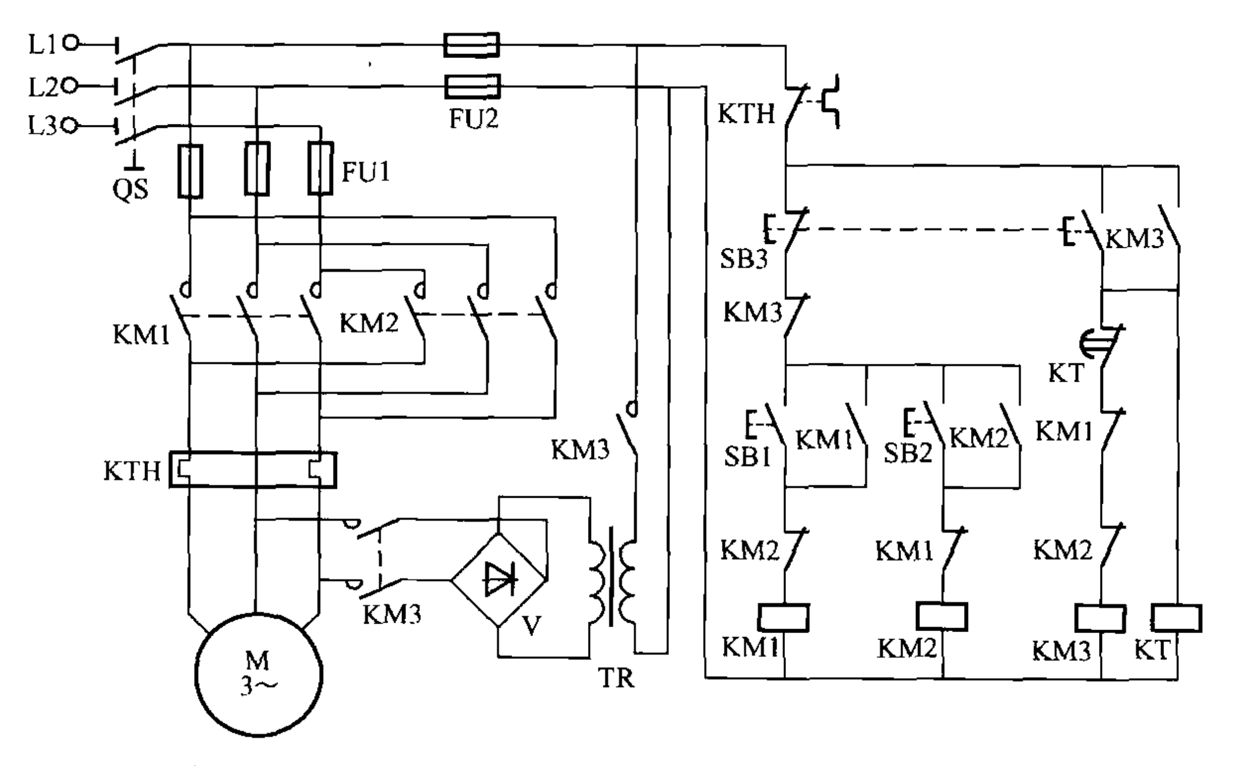


图 2-116　时间继电器控制的可逆运行能耗制动控制线路

线路。该线路由三只交流接触器 KM1、KM2、KM3，以及时间继电器 KT、热继电器 KTH、整流变压器 TR 和整流器 V 等电气元件组成。它在正向运转和反向运转下均可准确地对电动机进行制动控制。

例 2-117 速度继电器控制的可逆运行能耗制动控制线路

图 2-117 所示即为速度继电器控制的可逆运行能耗制动控制线路。该线路适用于电动机停止后不能存在有惯性的生产机械。线路中用速度继电器 SR 取代了时间继电器 KT，由于速度继电器触点具有方向性的特点，因而其常开、常闭触点能更准确可靠地工作。

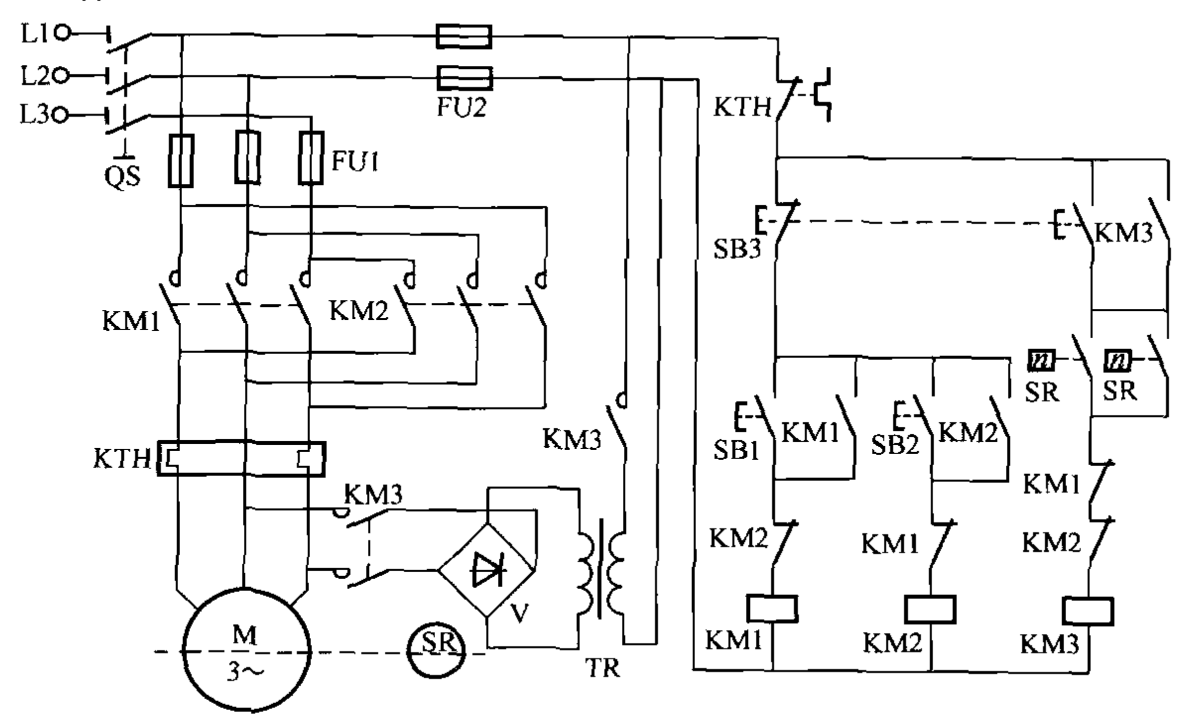


图 2-117 速度继电器控制的可逆运行能耗制动控制线路

第 5 节 高压异步电动机控制线路

在大功率电动机中，多采用 3～10kV 的高压异步电动机。它的控制线路与前面低压异步电动机的基本线路相近，但对其继电保护的要求却严格得多。高压异步电动机的起动与断开则多数

采用断路器来控制，下面即为高压三相异步电动机的几种常见电气控制线路。

例 2-118　用隔离开关操作的高压笼形异步电动机全压起动控制线路

图 2-118 所示即为采用隔离开关操作的高压笼形异步电动机全压起动控制线路。一般，高压异步电动机的控制线路均采取直流电源操作，这样能使一旦交流系统严重欠压或失压时，仍然可以依靠、保证能用直流电源来进行正常的跳闸操作，从而提高线路可靠性。

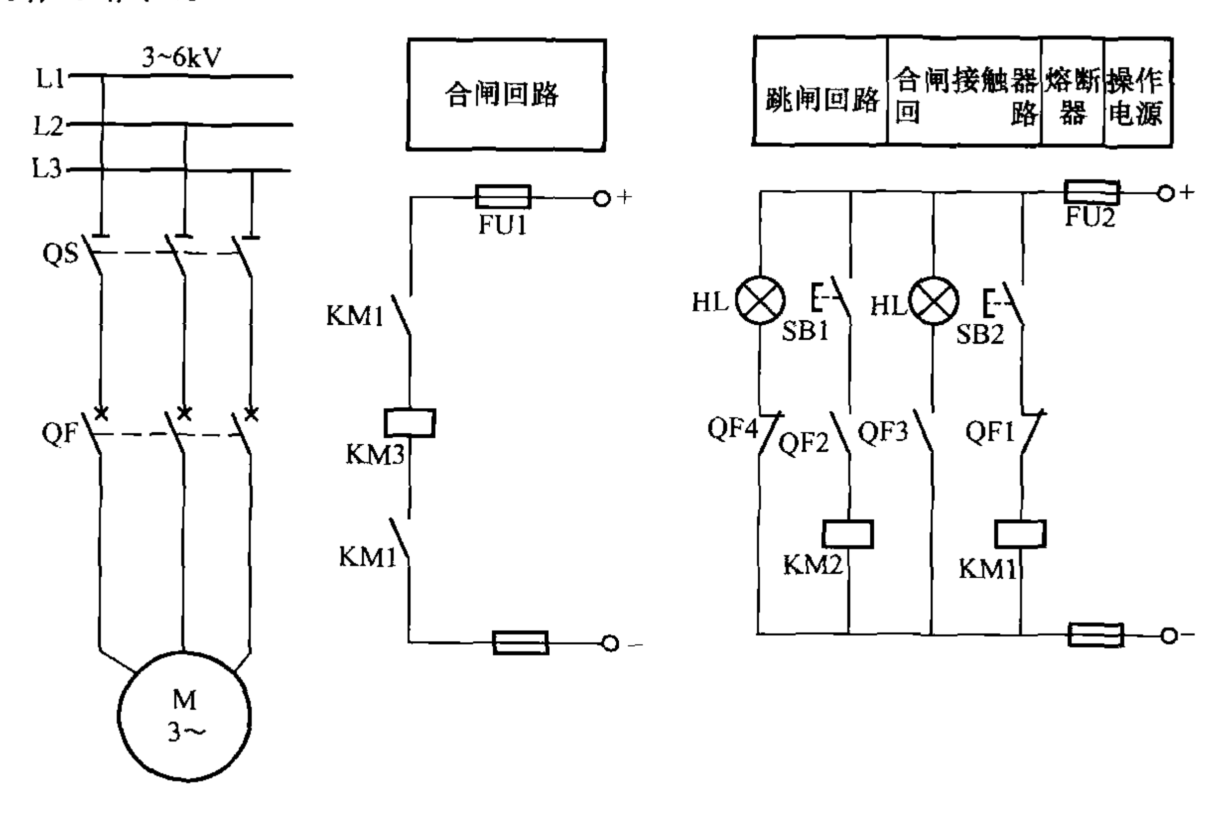


图 2-118　用隔离开关操作的高压笼形异步电动机全压起动控制线路

例 2-119　万能转换开关手柄在不同位置时的通断图。

图 2-119 所示即为万能转换开关手柄在不同位置时的通断图。该线路用于高压异步电动机控制的高压开关柜上，它常采用万能转换开关来控制断路器的合闸与跳闸。万能转换开关是由转动的手柄和多个不同结构的触点盒组成，它的手柄位置和触点对

数比较多。这种万能转换开关的旋转手柄有固定位置和临时位置两种工作状态，手柄转动90°时，它可以变换到另一固定位置。

跳闸后手柄位置(正面)和触点盒(背面)的主接线图																	
手柄和触点盒的型式	F3	1a		4		ba			40			20			20		
位置 \ 触点号	—	1~3	2~4	5~8	7~6	9~10	9~12	10~11	13~14	13~15	13~16	17~18	17~19	17~20	21~22	21~23	21~24
跳闸后		–	×	–	–	–	–	×	–	×	–	–	–	×	–	–	×
预备合闸		×	–	–	–	×	–	–	×	–	–	–	×	–	–	×	–
合闸		–	–	×	–	–	×	–	–	–	×	×	–	–	×	–	–
合闸后		×	–	–	–	×	–	–	–	–	×	×	–	–	×	–	–
预备跳闸		–	×	–	–	–	–	×	×	–	–	–	×	–	–	×	–
跳 闸		–	–	–	×	–	–	×	–	×	–	–	–	×	–	–	×

图 2-119 万能转换开关手柄在不同位置时的通断图

例 2-120 用万能转换开关控制的高压笼型异步电动机全压起动控制线路

图 2-120 所示即为用万能转换开关控制的高压笼型异步电动机全压起动控制线路。该线路中采用的为 LW_2—Z 型万能转换开关，它与合闸接触器 KM1、跳闸接触器 KM2 等组成控制电路，以使断路器合闸与跳闸来控制电动机的起动与停止运行。

例 2-121 带信号指示的全压起动控制线路

图 2-121 所示为带信号指示的高压笼型异步电动机全压起动控制线路。该线路中断路器红色信号指示灯 HL1 的点亮，不仅表示断路器已经合闸，而且还说明断路器的跳闸电路处于完好状态，回此起到了监视跳闸电路完好与否的可靠功能。

例 2-122 带闪光母线指示信号的全压起动控制线路

图 2-122 所示即为带闪光母线指示信号的全压起动控制线

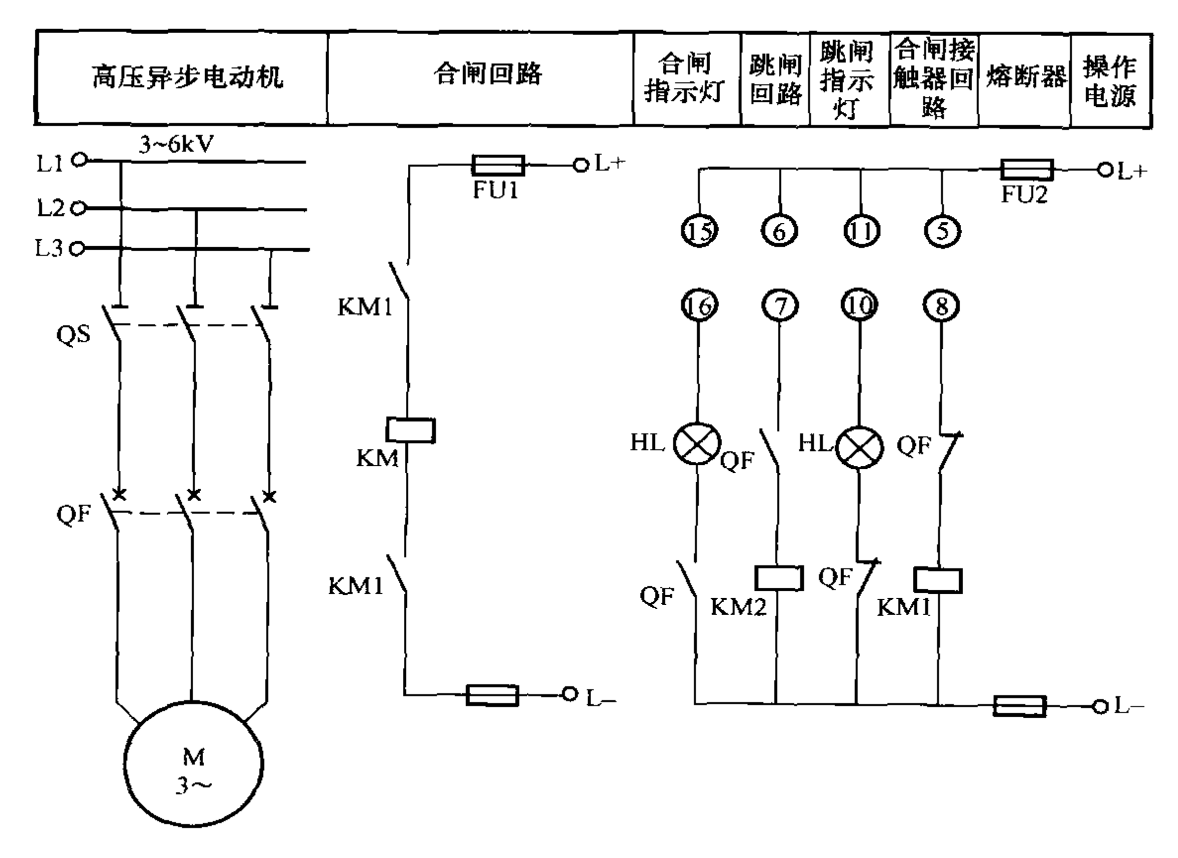


图 2-120　用万能转换开关控制的高压笼型异步电动机全压起动控制线路

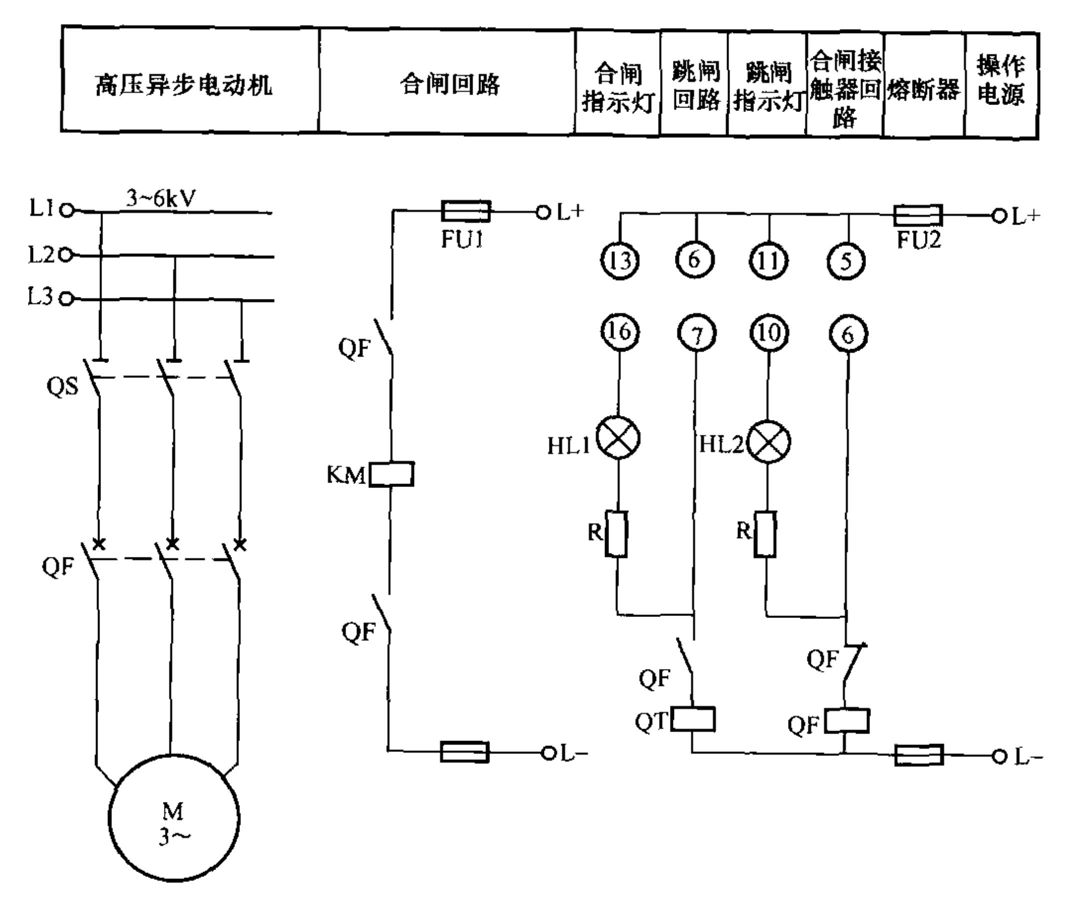


图 2-121　带信号指示的全压起动控制线路

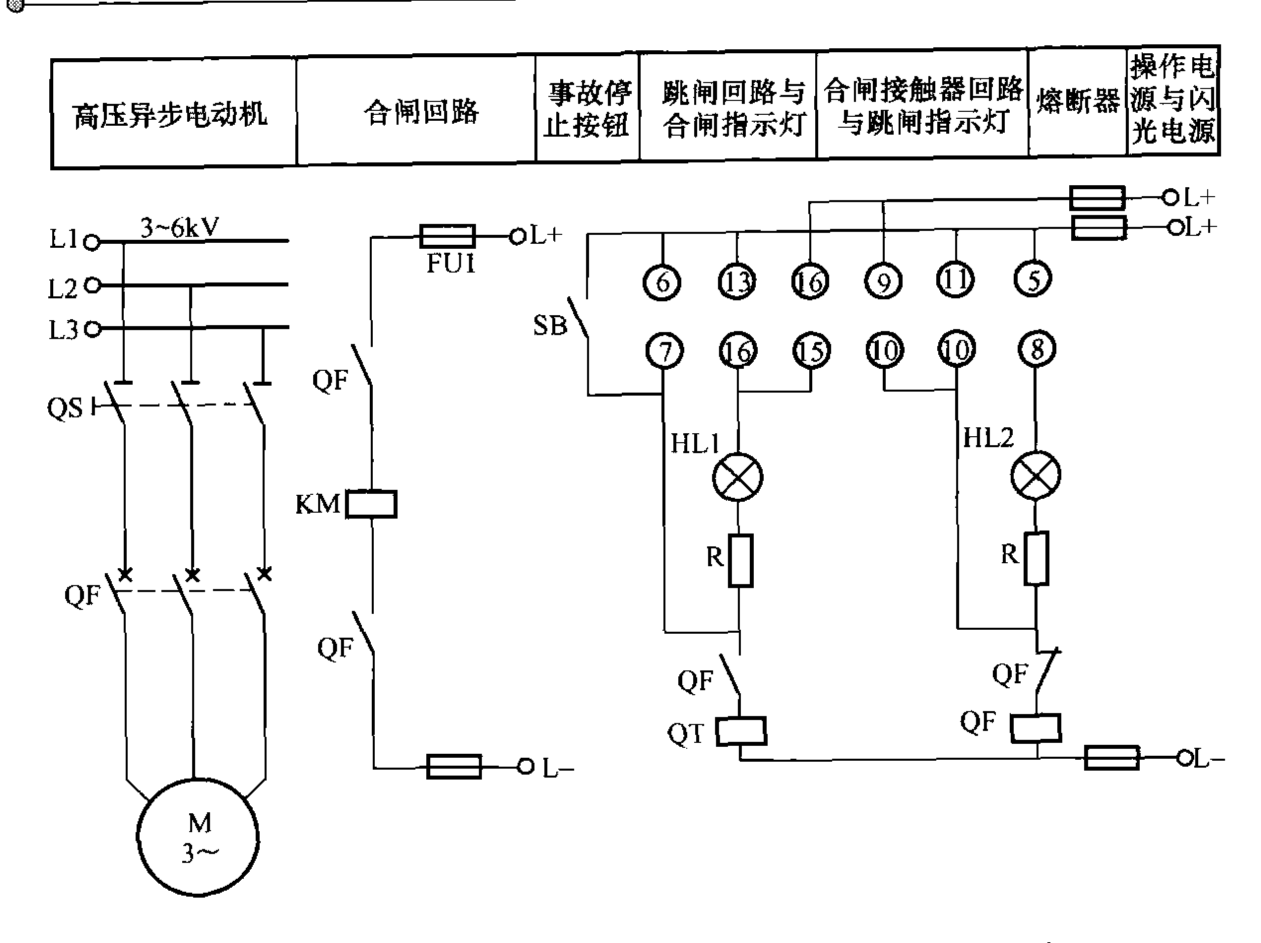


图 2-122　带闪光母线指示信号的全压起动控制线路

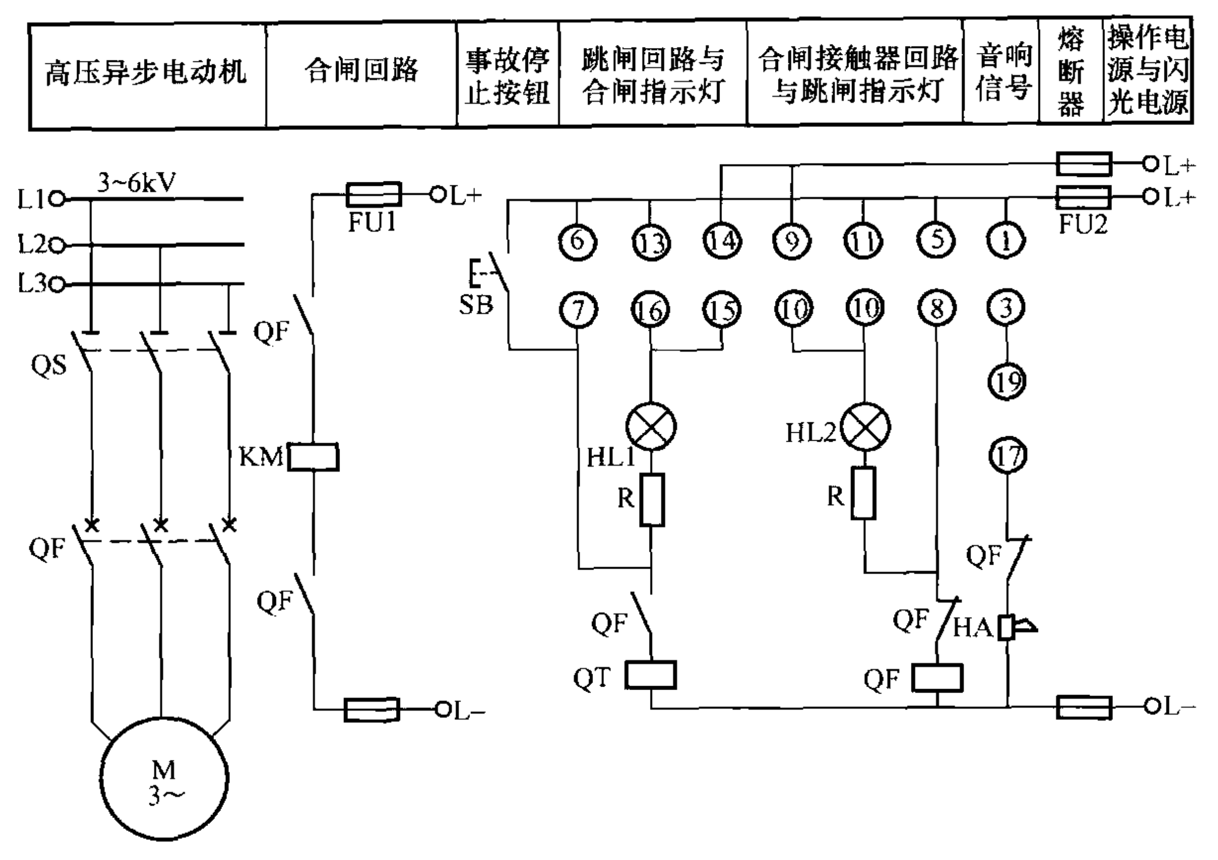


图 2-123　带音响信号指示的全压起动控制线路

路。该线路利用自动合闸或跳闸万能转换开关 SA 的手柄位置与断路器实际位置不一致这个特点，将绿色或红色指示信号灯接到闪光母线上发出时明时灭的闪光。

例 2-123　带音响信号指示的全压起动控制线路

图 2-123 所示即为带音响信号指示的全压起动控制线路。该线路设置有电笛 HA 的音响信号，当电动机事故停车或断路事故跳闸时，电笛即能立刻发出音响信号。若将万能转换开关扳至“跳闸”处，即可解除音响信号。

例 2-124　具有电流速断保护装置的全压起动控制线路

图 2-124 所示即为具有电流速断保护的全压起动控制线路。该线路中的电动机正常运行时，如突发绕组相间短路故障，则电流继电器 KA 将会立即动作，其常开触点则将闭合，断路器线圈得电跳闸，使电动机失去电源而停止运行，从而起到了速断保护的作用。

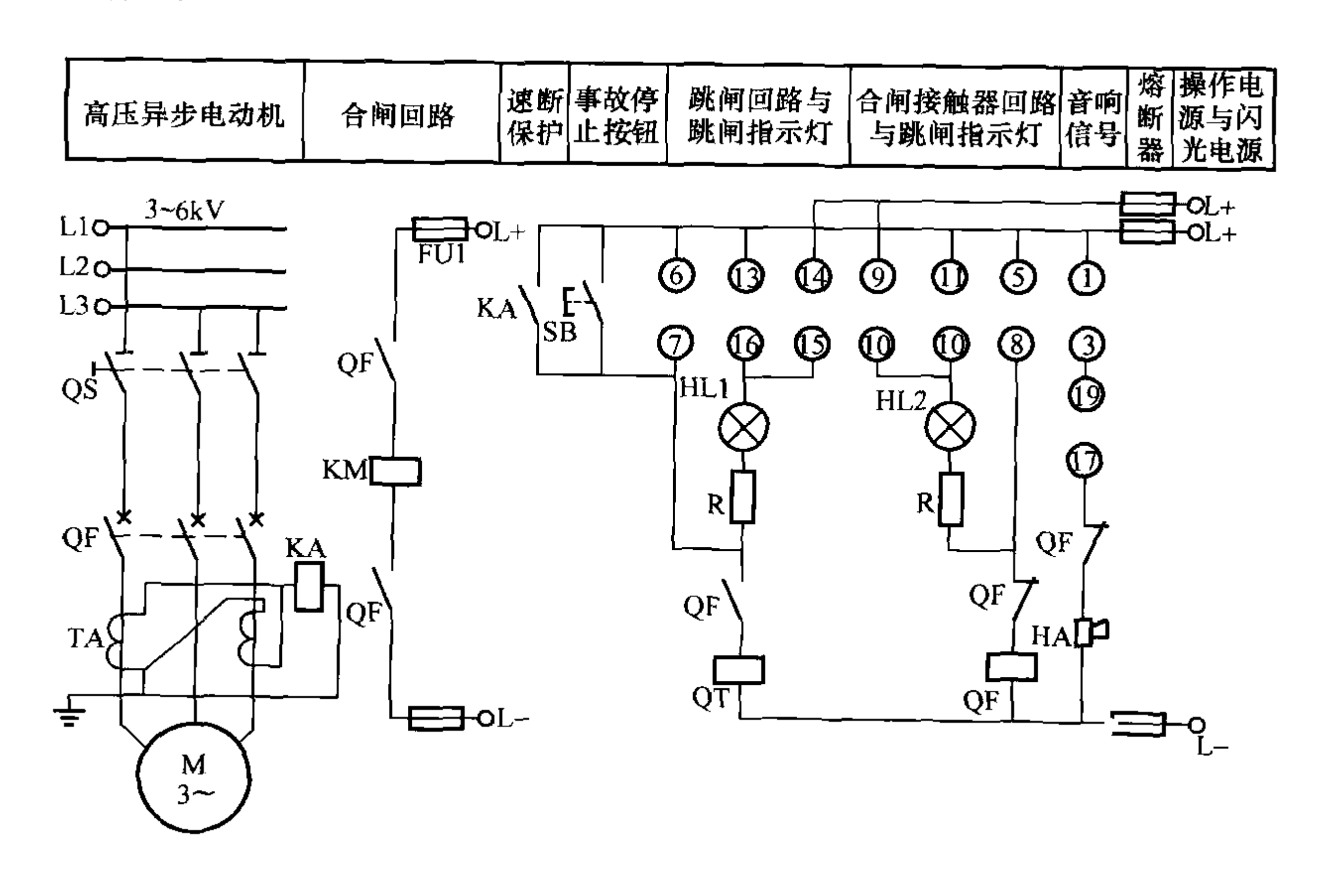


图 2-124　具有电流速断保护装置的全压起动控制线路

例 2-125　采用两只电流继电器进行速断保护的全压起动控制线路

图 2-125 所示即为采用两只电流继电器进行速断保护的全压起动控制线路。该线路在电动机运行过程中，如发生相间短路故障，其故障电流只须使两只电流互感器中任一只的常开触点闭合，则断路器将会立即跳闸断开电动机的主电源，从而起到断路保护作用。

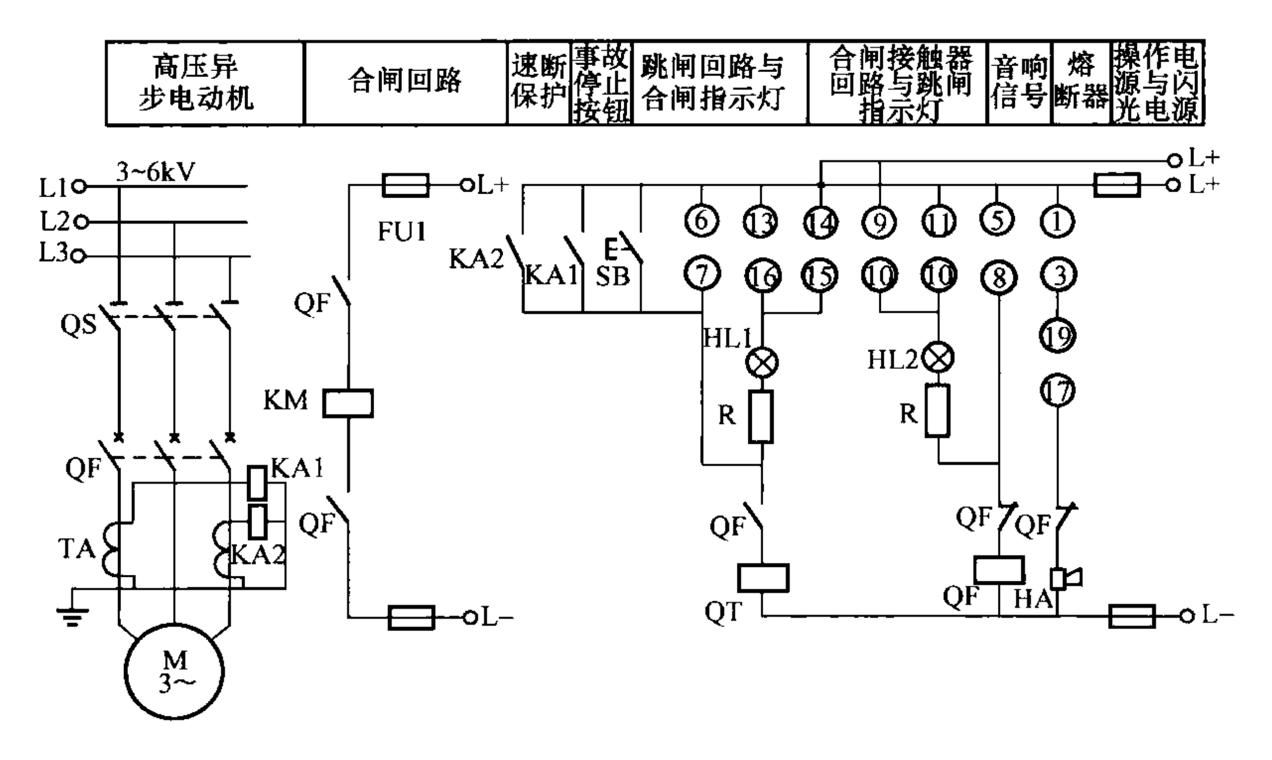


图 2-125　采用两只电流继电器进行速断保护的全压起动控制线路

例 2-126　带单相接地保护装置的全压起动控制线路

图 2-126 所示即为带单相接地保护装置的全压起动控制线路。当高压电动机的单相接地电容电流等于或大于 10A 时，则不论电动机容量的大小，均应装置单相接地保护环节。在电动机的运行中，如发生单相接地故障时，则零序电流互感器 TA1、TA2 将会动作，以与电流继电器 KA1、KA2、KA3 一起共同完成对电动机的保护。

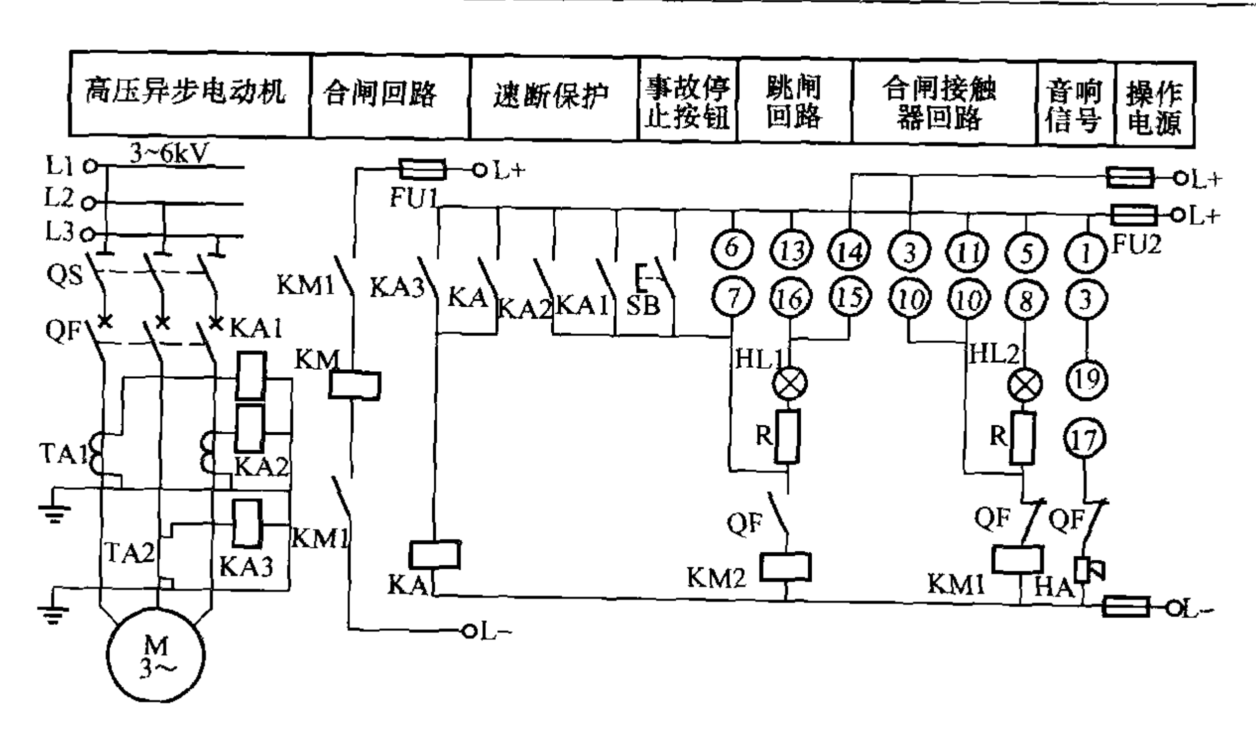


图 2-126　带单相接地保护装置的全压起动控制线路

例 2-127　共用音响信号的全压起动控制线路

图 2-127 所示即为共用音响信号的全压起动控制线路。一般在高压异步电动机的开关柜上多数不装闪光电源，音响信号也都是多台电动机才共用一套，因为这样可以简化其控制线路。此图中的虚线部分即来自另一台电动机。

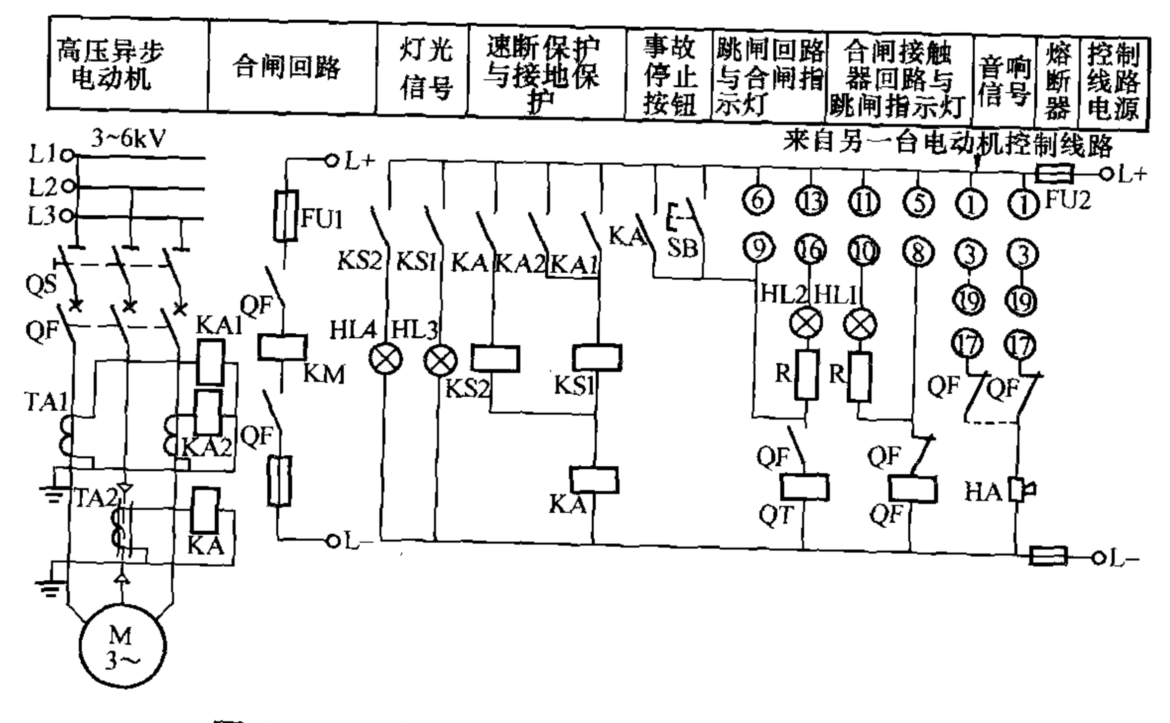


图 2-127　共用音响信号的全压起动控制线路

例 2-128 带电压信号继电器的全压起动控制线路

图 2-128 所示即为带电压信号继电器的全压起动控制线路。该线路中的电压继电器 KV1、KV2 是与中间电流继电器 KA1、KA2 并联工作的，因而提高了控制线路的可靠性。

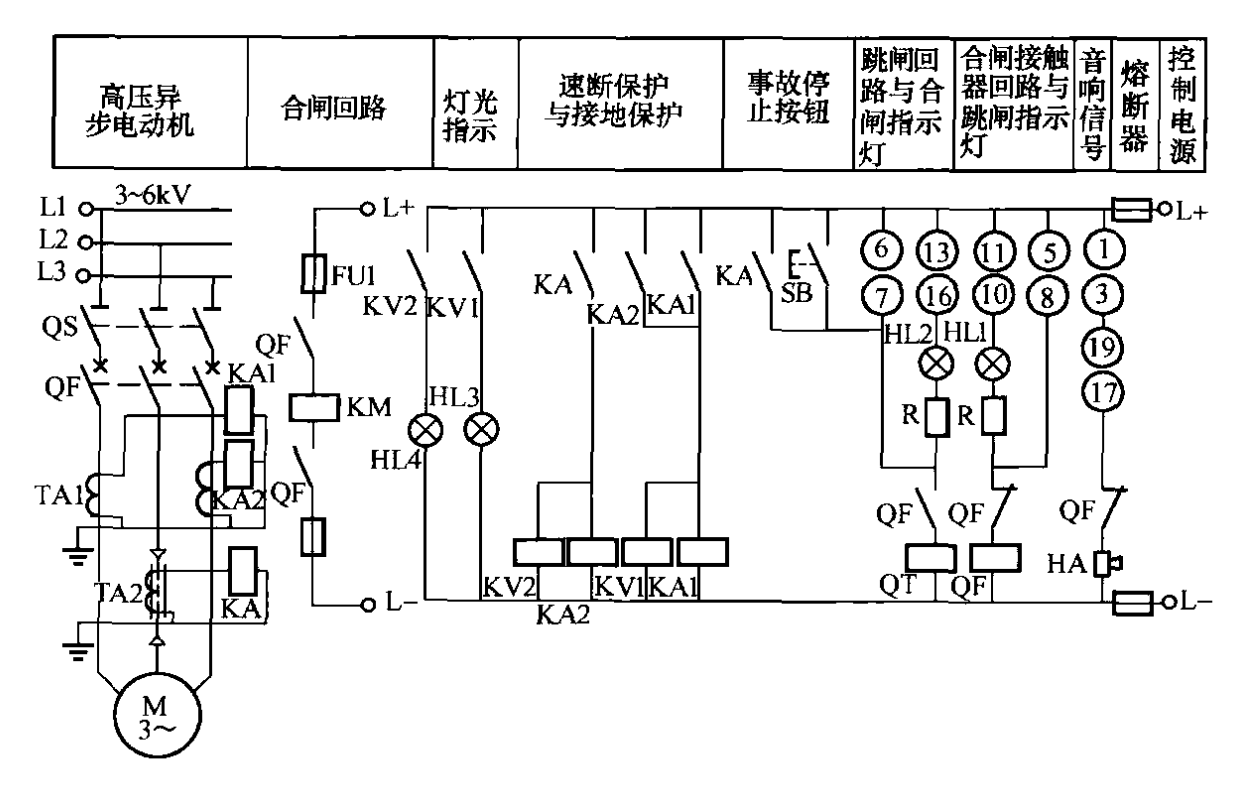


图 2-128 带电压信号继电器的全压起动控制线路

例 2-129 高压笼型异步电动机电抗降压起动控制线路

图 2-129 所示即为高压笼型异步电动机电抗降压起动控制线路。由于该线路采用了交流接触器 KM1、KM2，因此线路本身就具备了欠压和失压保护功能。串接在电流互感器 TA 二次侧的热元件 KTH 则为过载保护，控制柜门开关 SL 起安全操作的作用。

例 2-130 高压笼型异步电动机电抗降压起动自动短接控制线路

图 2-130 所示即为高压笼型异步电动机电抗降压起动自动短接控制线路。该线路中的时间继电器 KT 经延时后控制交流接触器 KM2，当其自动短接起动电抗器 LS 后，电动机即进入正常

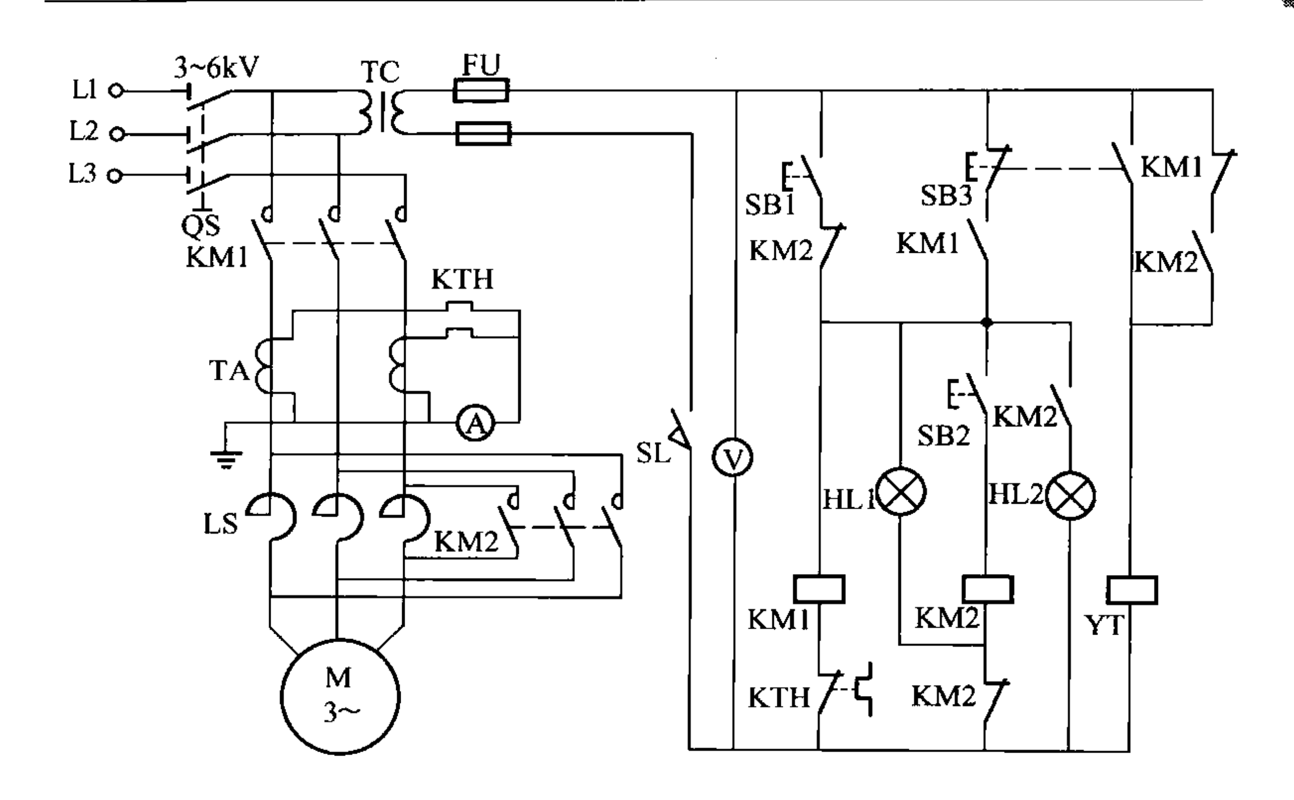


图 2-129　高压笼型异步电动机电抗降压起动控制线路

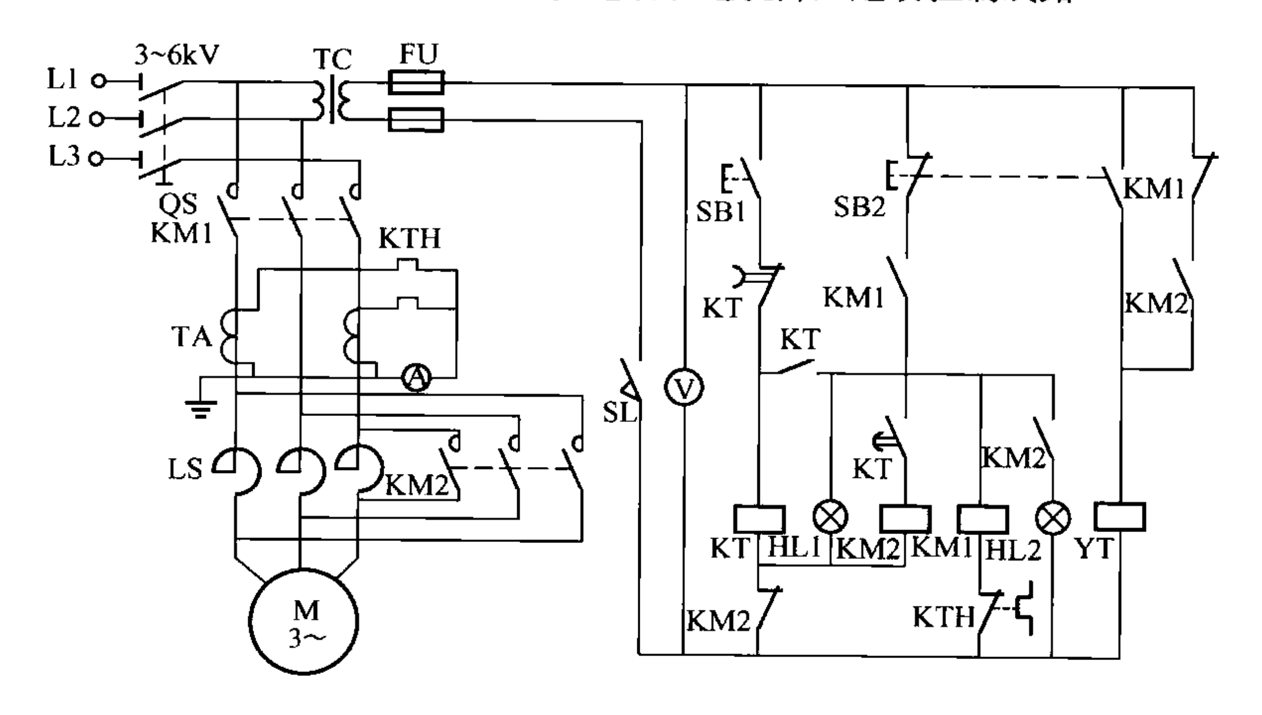


图 2-130　高压笼型异步电动机电抗降压起动自动短接控制线路

的额定运行。SL 则为控制柜按钮，确保操作安全。

例 2-131　高压笼型异步电动机电抗降压起动手动、自动短接控制线路

图 2-131 所示即为高压笼型异步电动机电抗降压起动手动、

自动短接控制线路。该线路中的起动电抗器 LS 的短接经由接触器 KM2 来完成。它可以通过组合开关 QS 的变换来进行手动操作。或由时间继电器 KT 来自动控制。

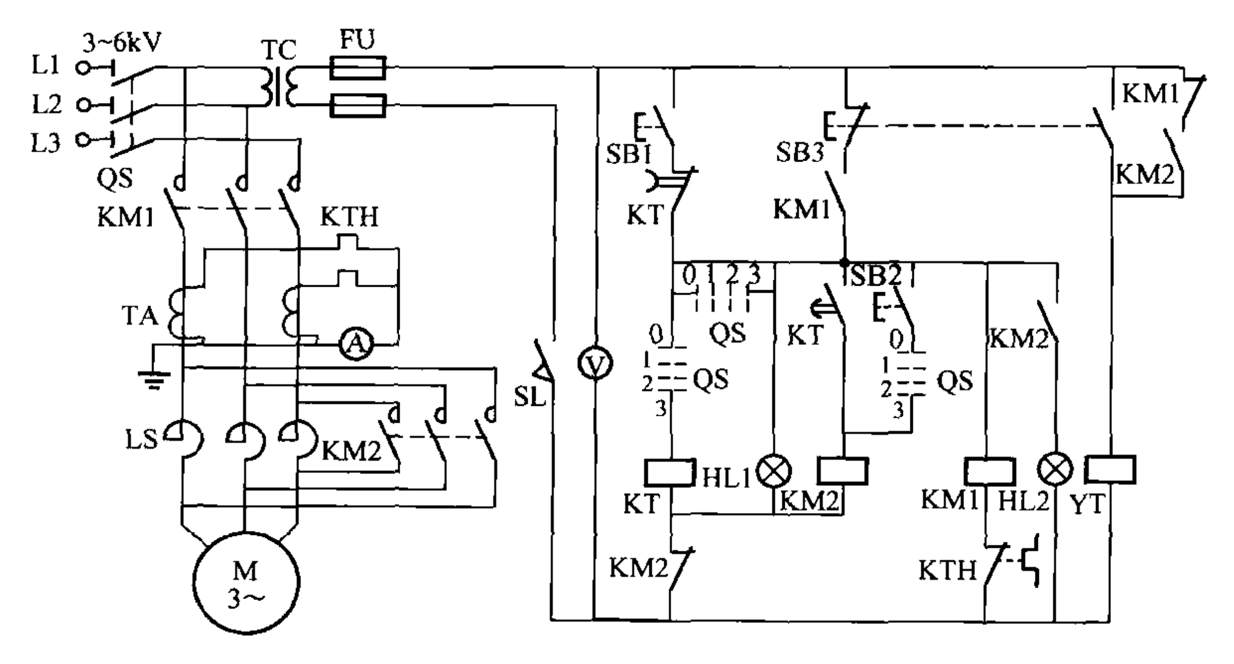


图 2-131 高压笼型异步电动机电抗降压起动手动、自动短接控制线路

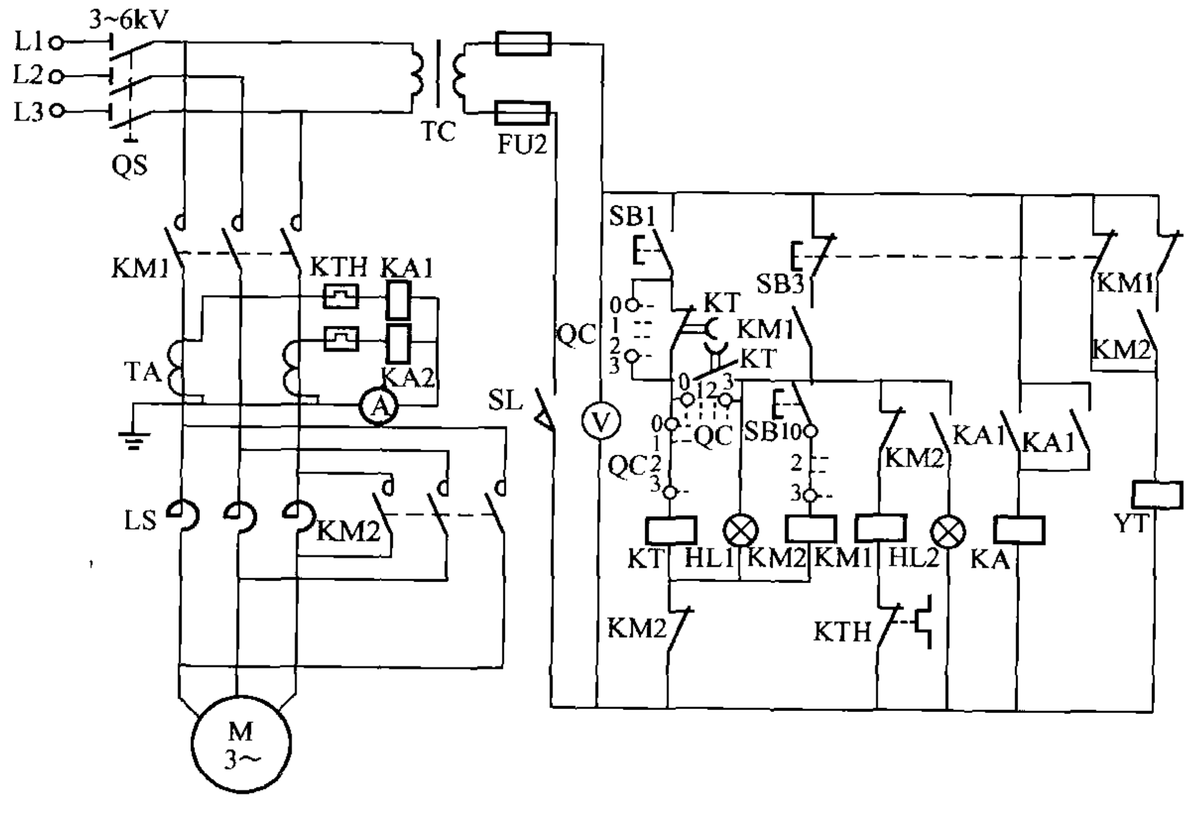


图 2-132 高压笼型异步电动机带过载和短路保护控制线路

例 2-132　高压笼型异步电动机带过载和短路保护控制线路

图 2-132 所示为高压笼型异步电动机带过载和短路保护控制线路。该线路在主电路的电流互感器 TA 的二次侧串联了热继电器 KTH，同时串联了两只电流继电器 KA1、KA2，并在控制线路中加入了一只中间电流继电器 KA，从而能对电动机作过载和短路保护。

例 2-133　两台高压笼型异步电动机共用一台电抗器起动的主电气线路

图 2-133 所示即为两台高压笼型异步电动机共用一台电抗器起动的主电气线路。在某些环境和一定条件下，多台高压异步电

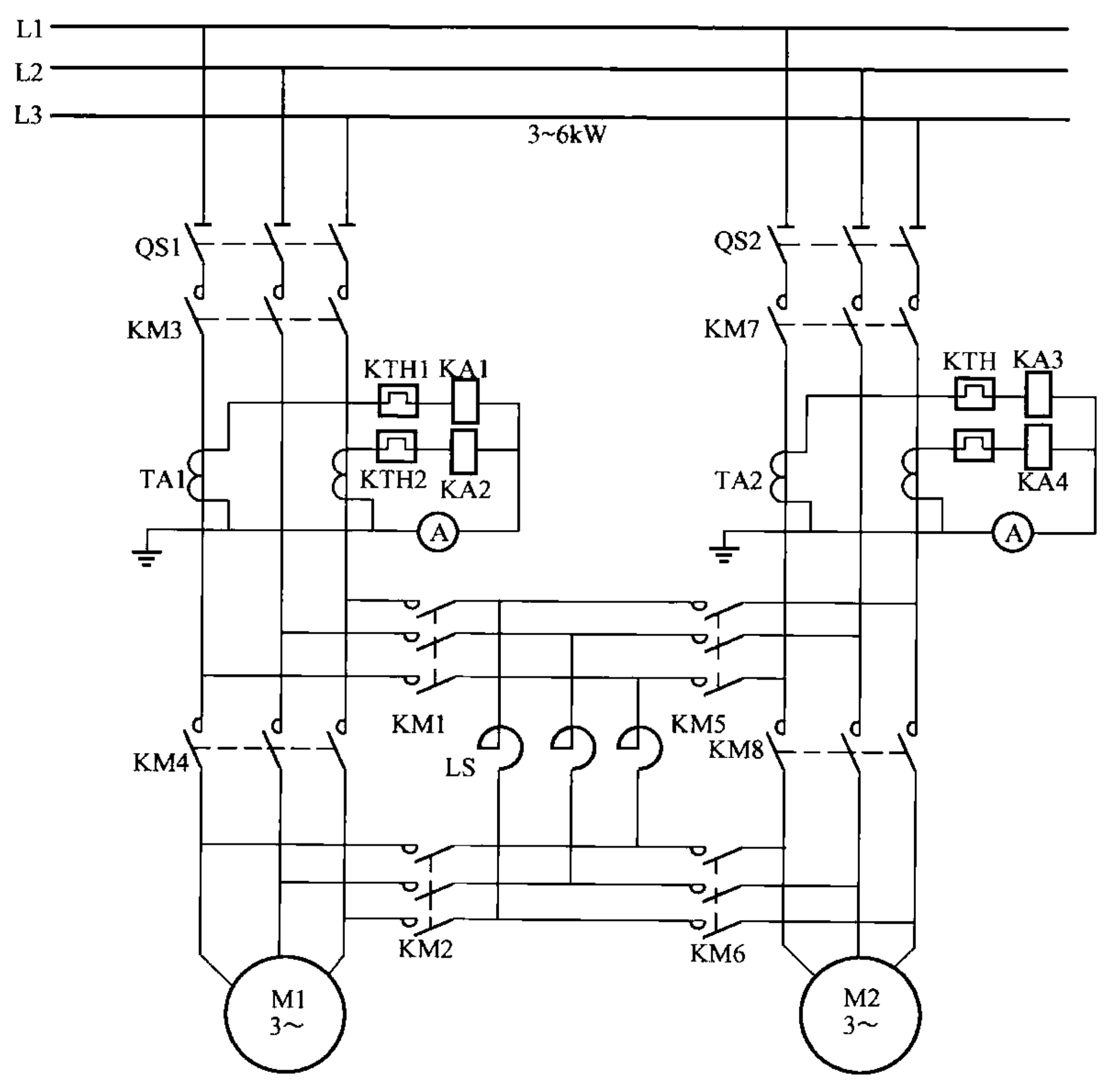


图 2-133　两台高压笼型异步电动机共用一台电抗器起动的主电气线路

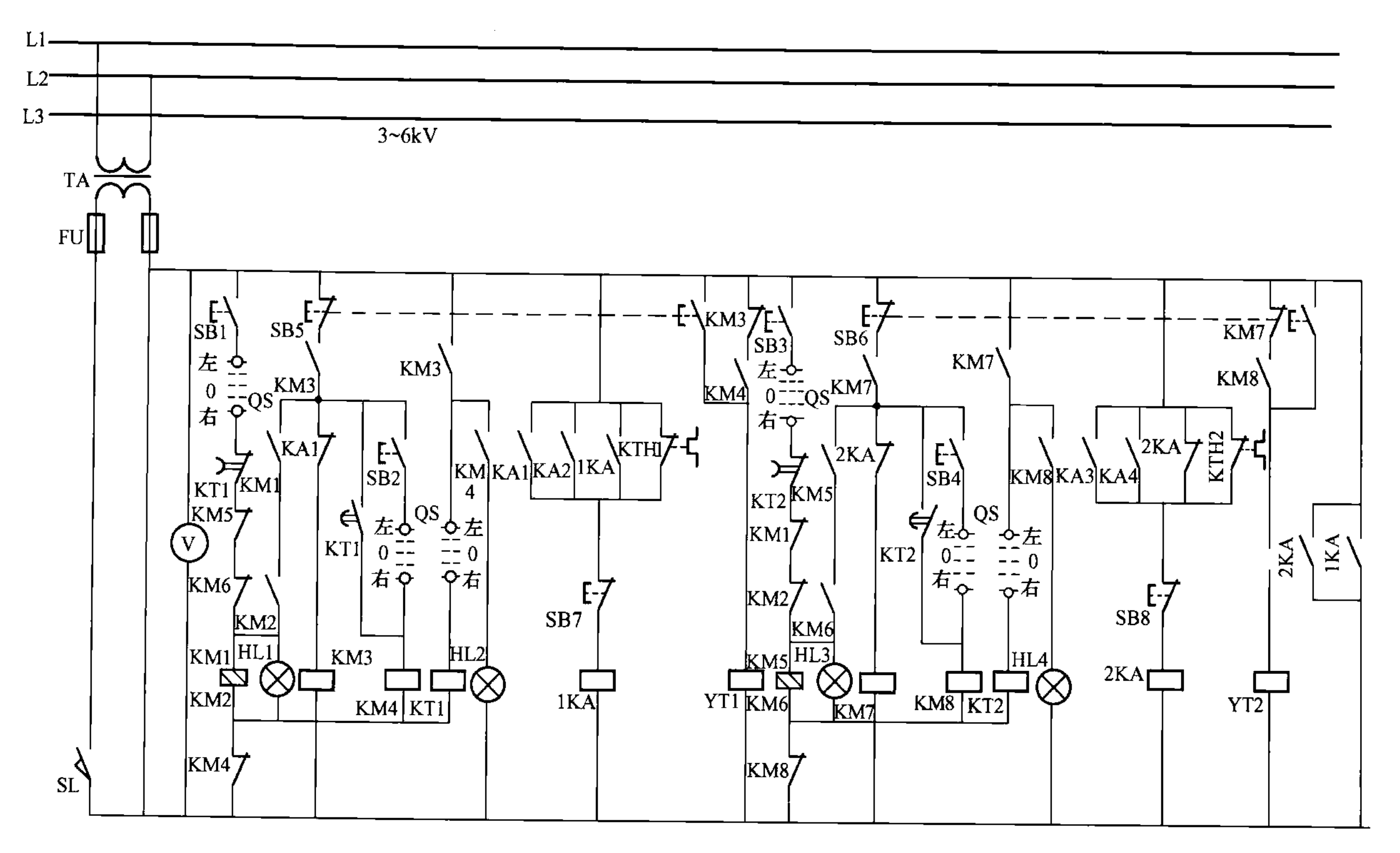


图 2-134 两台高压笼型异步电动机共用一台电抗器起动的控制线路

动机可以采取共用一台起动设备的控制形式，本图即为使用一台电抗器控制两台电动机的起动。在这一控制线路中，当转换开关 QC 的旋转手柄分别置于两台电动机的自动运行位置时，两台电动机在降压起动后能够自动进入全电压运行；而当转换开关置于手动位置时，两台电动机的手动运行可通过 SB1 和 SB2 两个起动按钮的手动操作来进行控制。

例 2-134　两台高压笼型异步电动机共用一台电抗器起动的控制线路

图 2-134 所示即为两台高压笼型异步电动机共用一台电抗器起动的控制线路。本图即为图 2-133 的控制电路图。

例 2-135　高压绕线转子异步电动机频敏变阻器起动控制

图 2-135　高压绕线转子异步电动机频敏变阻器起动控制线路

线路

图 2-135 所示即为高压绕线转子异步电动机频敏变阻器起动控制线路。该线路具有自动和手动两种运行方式，在高压控制柜上装置有门触点开关 SL，以确保安全。线路中的转换开关 QC 上有自动、手动和停止三个位置，转换开关的操作通过其旋转手柄进行。

第 6 节　异步电动机发电运行控制线路

从电机的可逆性原理中我们知道，异步电动机除作为电动机运行外，在特殊情况下它也可作为异步发电机运行。下面即为几种常见异步发电机控制线路。

例 2-136　三相三线制异步发电机 Y 接、电容 Y 接的控制线路

图 2-136 所示即为三相三线制异步发电机 Y 接、电容 Y 接的控制线路。该线路中采用三相笼型异步电动机加装励磁电容后进行发电，依靠电容器提供异步发电机的励磁功率。电动机的额定

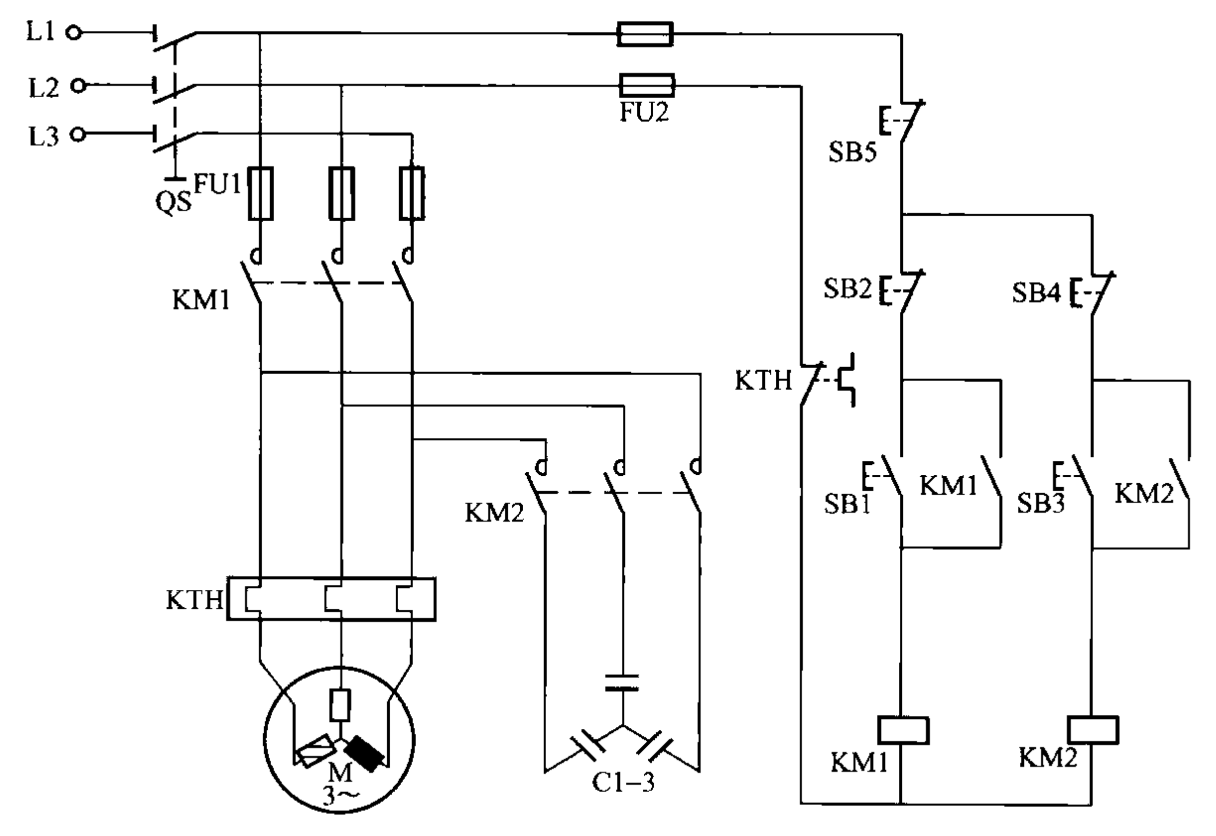


图 2-136　三相三线制异步发电机 Y 接、电容 Y 接的控制线路

功率不同，则空载时所配置的电容器电容量也不同。

例 2-137　三相三线制异步发电机Y接、电容△接的控制线路

图 2-137 所示即为三相三线制异步发电机 Y 接、电容△接的控制线路。该线路中采用三相笼型异步电动机加装励磁电容进行发电。异步发电机具有起动容易，并网方便，易于自动控制，对转速要求没有同步发电机严格，以及价格低廉、运行可靠等许多优点，因而在某些特定条件下仍有采用。

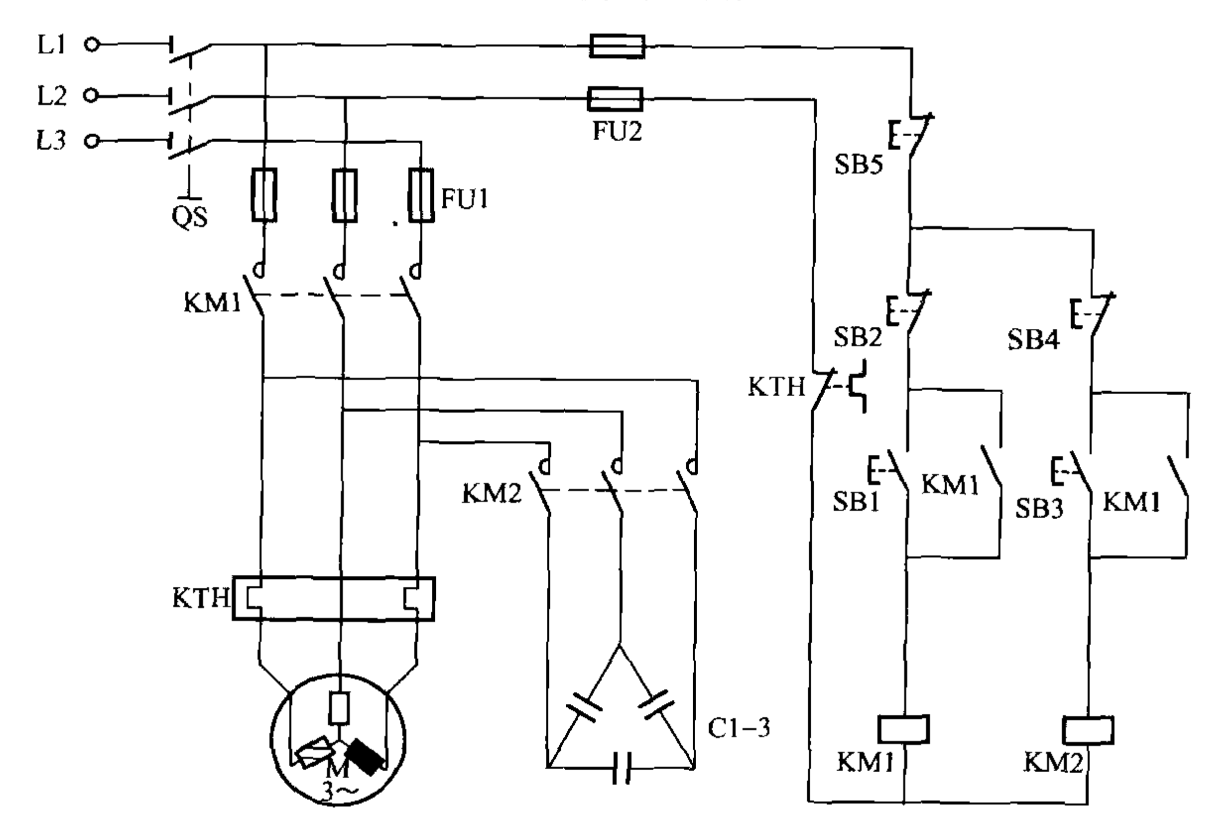


图 2-137　三相三线制异步发电机 Y 接、电容△接的控制线路

例 2-138　三相三线制异步发电机△接、电容Y接的控制线路

图 2-138 所示即为三相三线制异步发电机△接、电容 Y 接的控制线路。该线路由三相笼型异步电动机加装励磁电容器组成。异步发电机的功率最好只在几十个 KVA 以内，因为其功率越大，它所须并联的励磁电容器的电容量也跟着增大，这样就使异步发电机整体经济性较差。

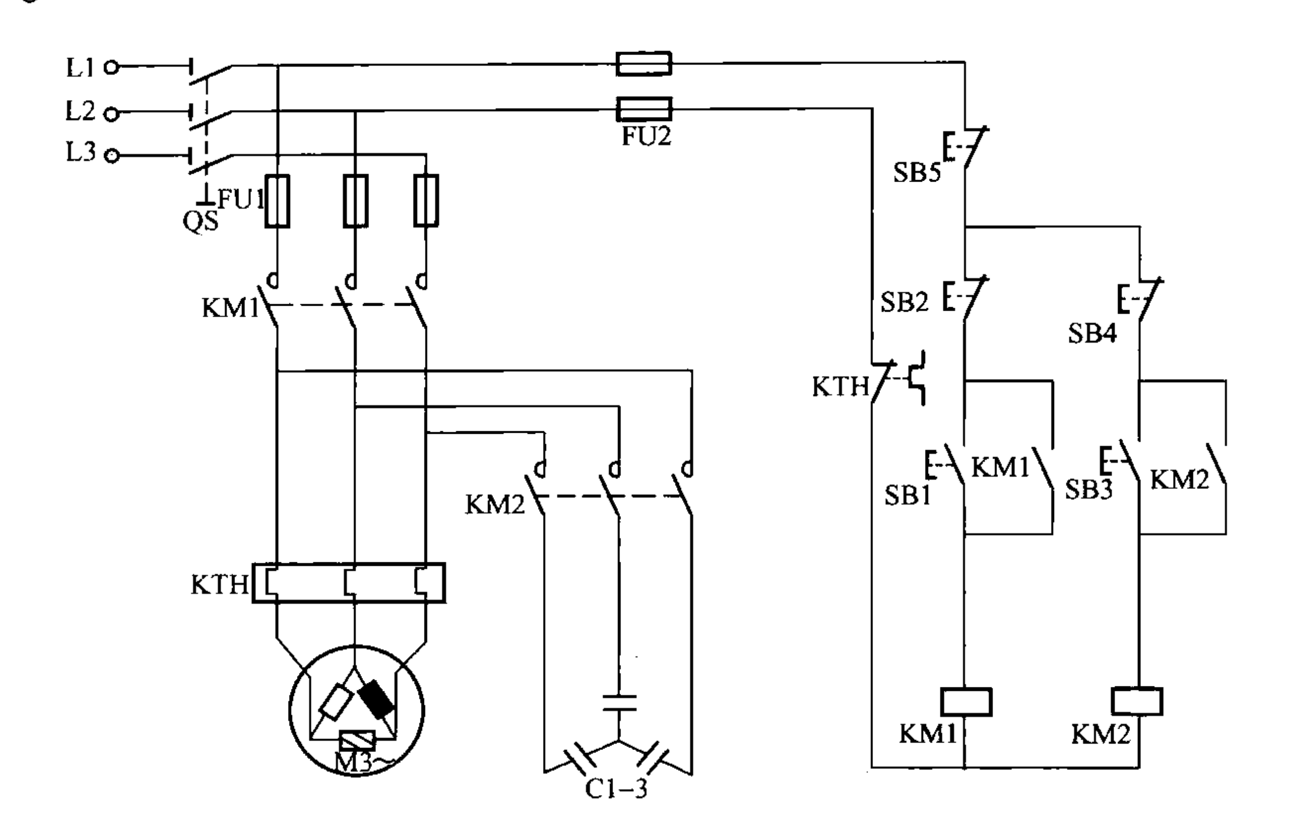


图 2-138　三相三线制异步发电机△接、电容 Y 接的控制线路

例 2-139　三相三线制异步发电机及电容均为△接的控制线路

图 2-139 所示即为三相三线制异步发电机及电容均为△接的控制线路。该线路由三相笼型异步电动机加装励磁电容器而改制成异步发电机，经动力机械拖动即可以发电。熔断器 FU1、FU2 和热继电器 KTH 则为短路与过载保护。该线路结构简单、经济实用。

例 2-140　三相四线制异步发电机Y 接并带中性线、电容Y 接的控制线路

图 2-140 所示即为三相四线制异步发电机 Y 接并带中性线、电容 Y 接的控制线路。该线路中的异步发电机是在三相笼型异步电动机上加装励磁电容而成，这样它就不需要专用励磁机来供应励磁电流，而全部由电容器提供。

例 2-141　三相四线制异步发电机Y 接、电容Y 接并带中性线的控制线路

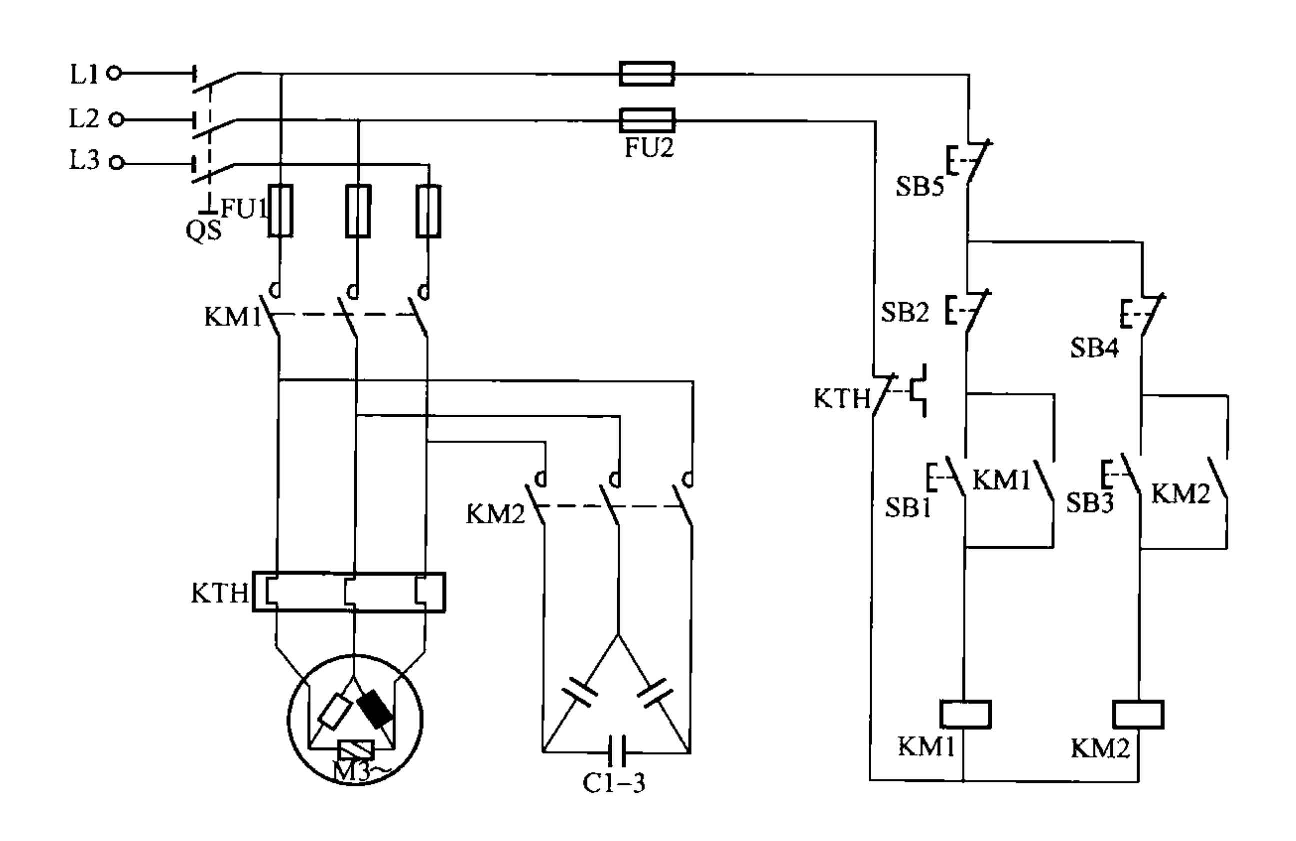


图 2-139　三相三线制异步发电机及电容均为△接的控制线路

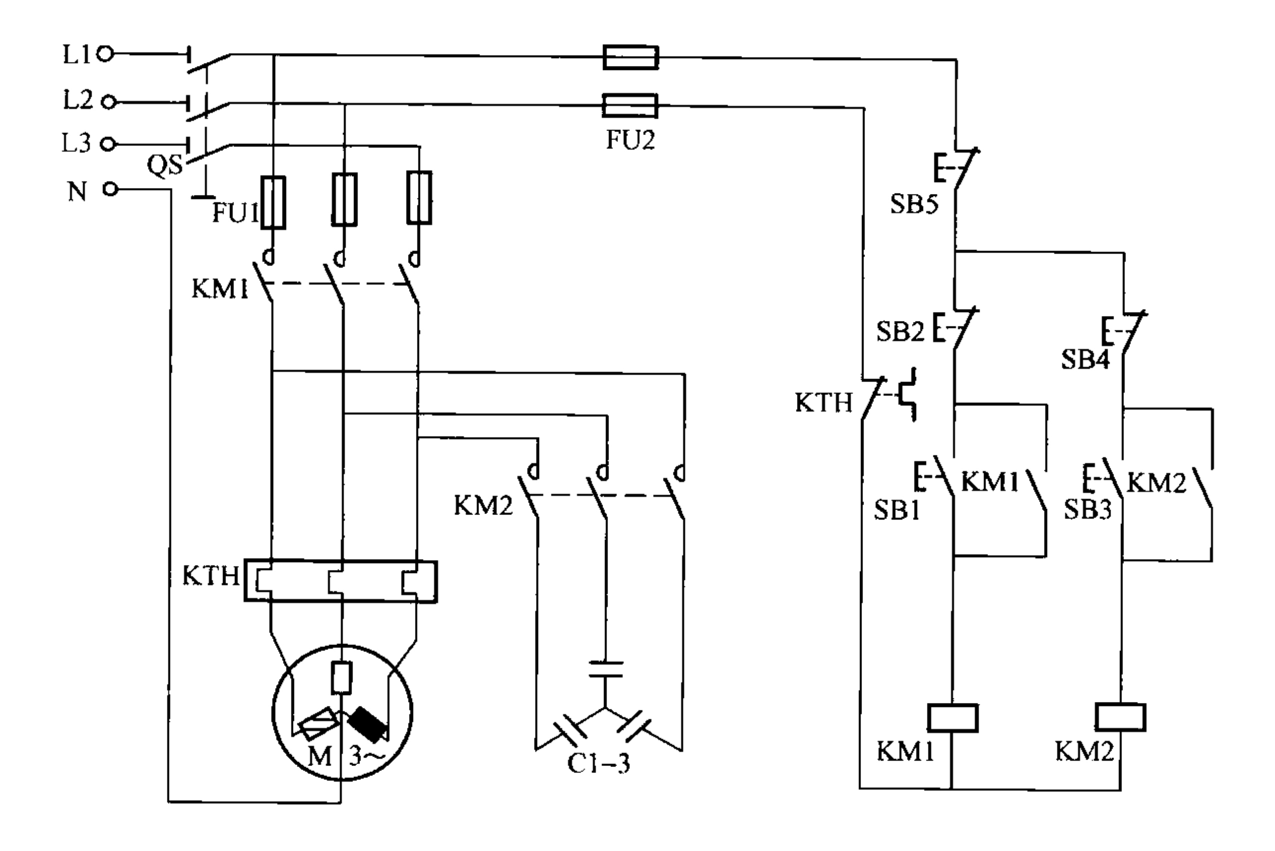


图 2-140　三相四线制异步发电机 Y 接并带中性线、电容 Y 接的控制线路

图 2-141 所示即为三相四线制异步发电机 Y 接、并带中性线的控制线路。该线路由三相笼型异步电动机加装一组三相电容器而组成。这种发电机结构极为简单，它不需要专用励磁机来提供励磁电流，而只靠一组外加电容器来提供励磁功率。

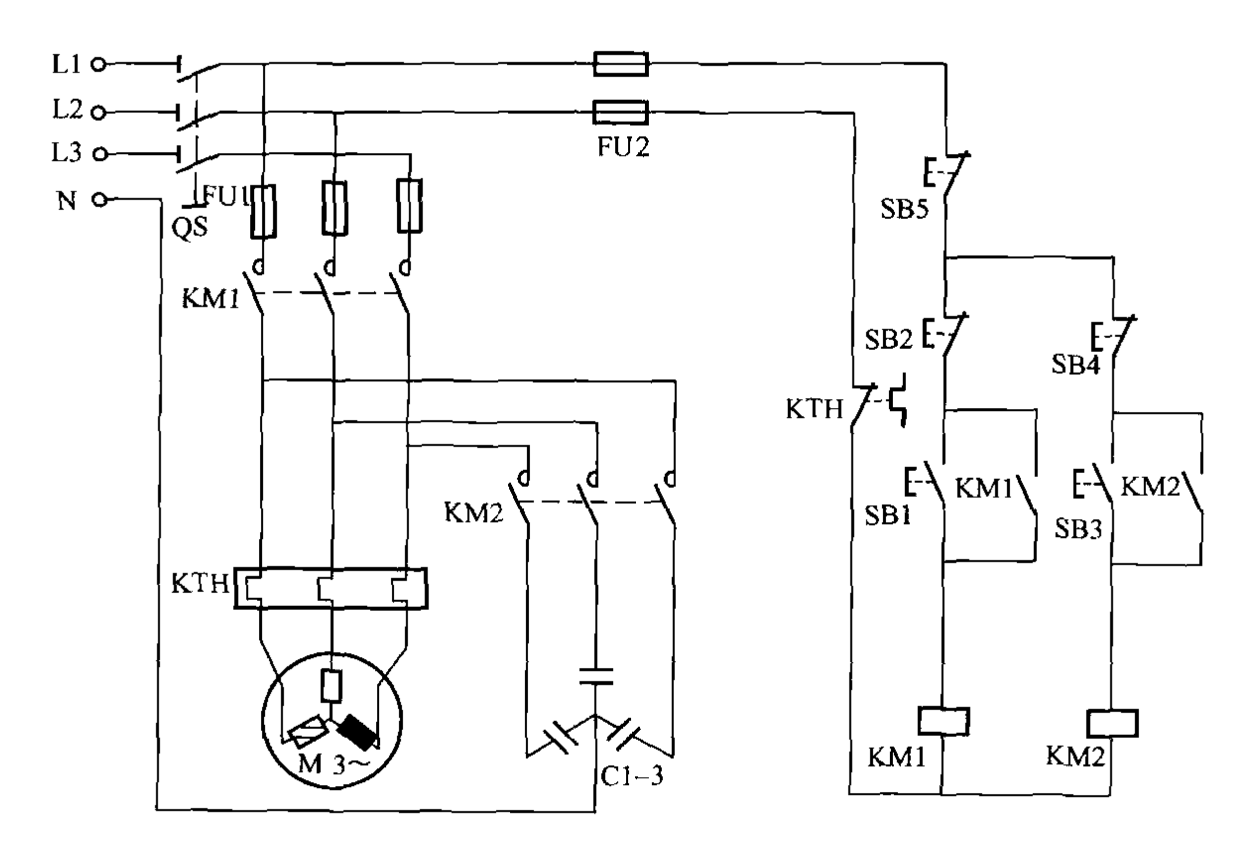


图 2-141 三相四线制异步发电机 Y 接、电容 Y 接并带中性线的控制线路

例 2-142 三相四线制异步发电机Y 接、电容△接的控制线路

图 2-142 所示即为三相四线制异步发电机 Y 接、电容△接的控制线路。该线路中的异步发电机是在一台三相笼型异步电动机上并接一组三相电容器，来供给励磁功率的，因而不需要专用励磁机提供励磁电流，故构造简单、维护方便且价格便宜。

例 2-143 三相四线制异步发电机△接、电容Y 接并带中性线的控制线路

图 2-143 所示即为三相四线制异步发电机△接、电容 Y 接并带中性线的控制线路。该线路由作为“Y”形联接电容器组的星

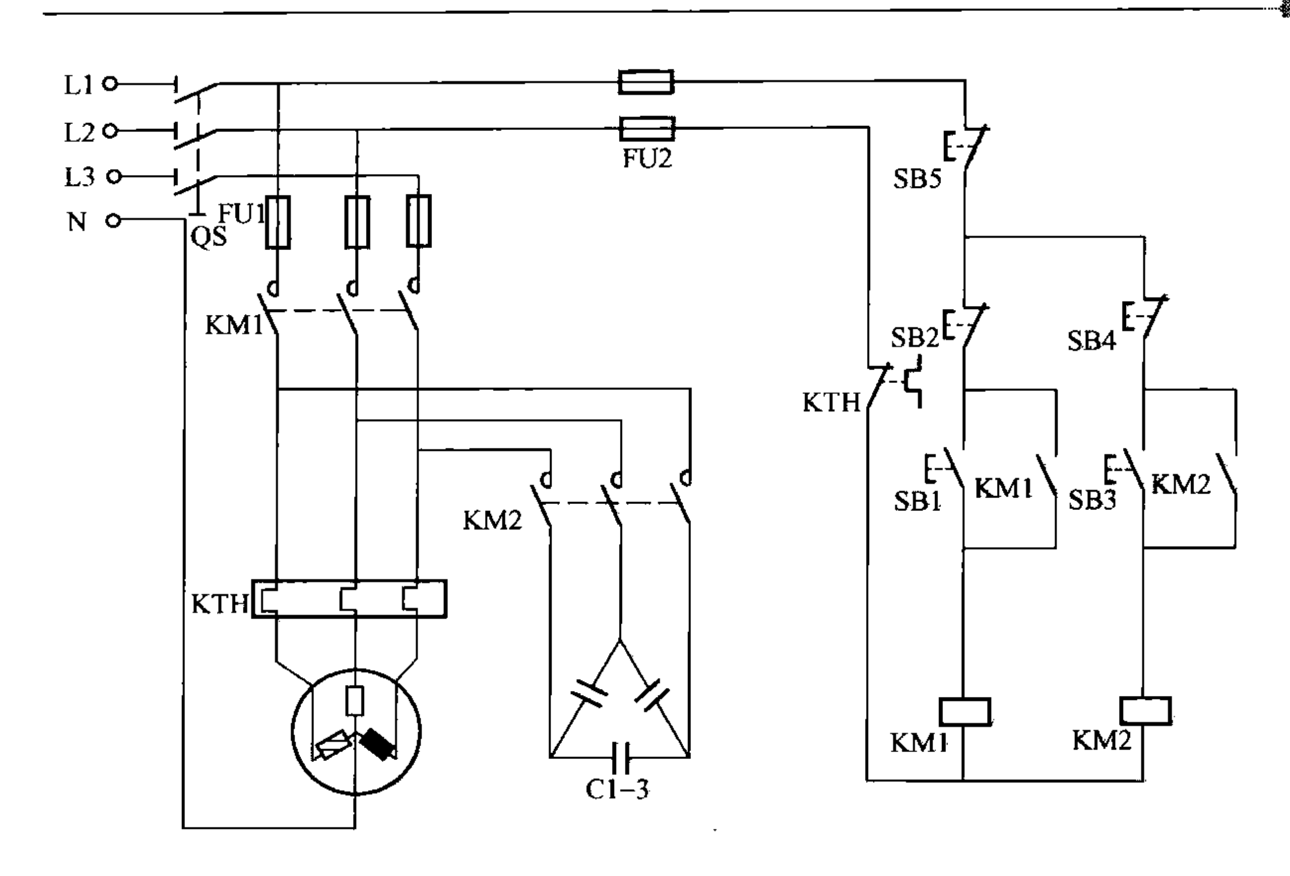


图 2-142　三相四线制异步发电机 Y 接、电容△接的控制线路

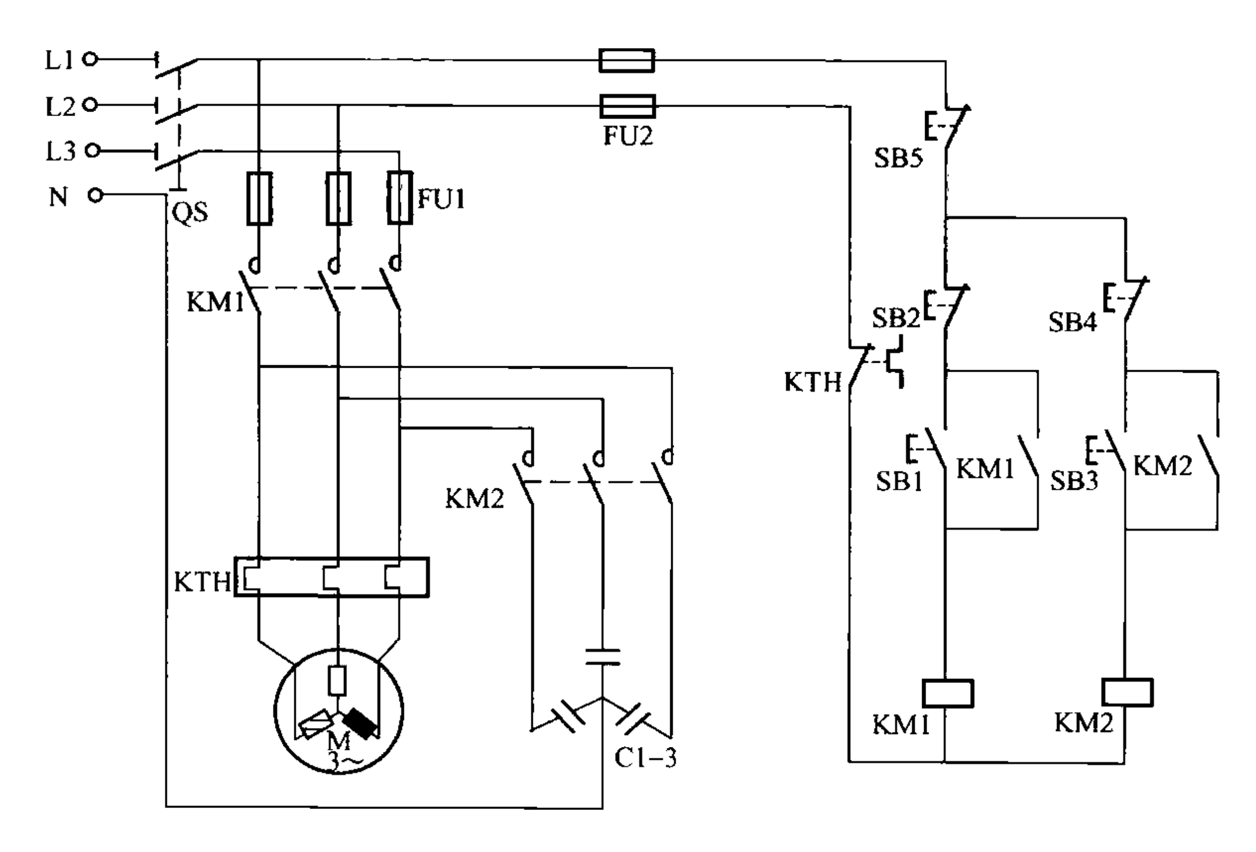


图 2-143　三相四线制异步发电机△接、电容
Y 接并带中性线的控制线路

点接出中性线。因为作为“△”形联接的异步电动机绕组是无法抽接出中性线的。异步发电机运行时，其电压与频率由附加电容器组的电容量、拖动原动机转速的高低及负载的大小等来决定。

例 2-144　三相四线制异步发电机作独立电源运行时的控制线路

图 2-144 所示即为三相四线制异步发电机作独立电源运行时的控制线路。该线路由拖动用原动机、异步发电机、电容器组、开关及保险装置等组成。因为输电线路存在着电压降，所以异步发电机的输出电压应为 400V/230V。异步发电机可以同时适用于单、三相负载。

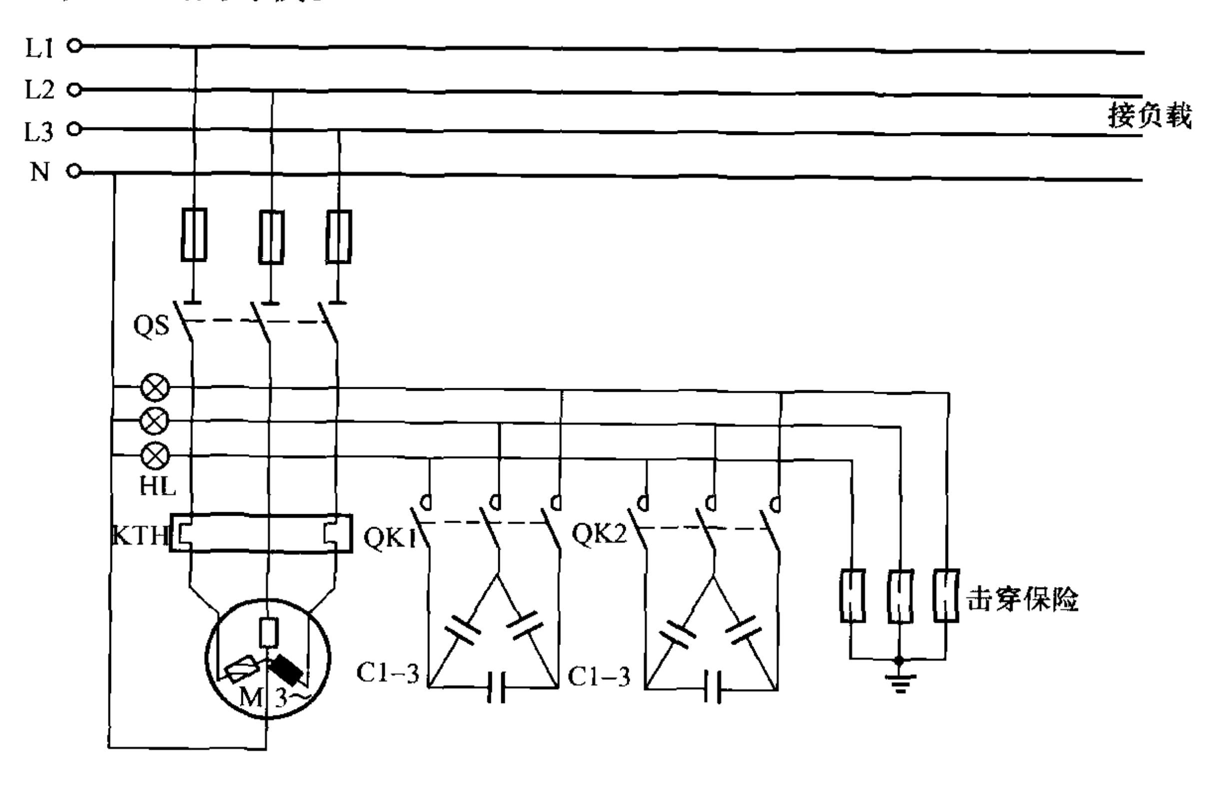
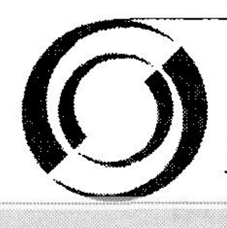


图 2-144　三相四线制异步发电机作独立电源运行时的控制线路



第3章 三相异步调速电动机电气控制线路

电动机的调速，也即电动机的速度调节或速度控制，是指在电力拖动系统中，为适应生产机械对不同转速的要求，去人为地或自动地改变电动机转速的方法。通常，电动机的调速有以下几种类型：

（1）无级调速，也称连续调速。它是指电动机的转速能够平滑地进行调节。无级调速时的转速变化均匀，适应性强且容易实现速度调节自动化，因此而得到广泛使用。异步电动机变频调速系统、晶闸管整流器—直流电动机调速系统等，都属于无级调速方式。

（2）有级调速，也称分级调速。这种调速方法的转速只能是有限的几种，如二速、三速或更多一些转速。普通车床、风扇等只要求具有几种转速时，则采用有级调速即可满足要求。

（3）恒功率调速。在异步电动机以改变磁极对数进行调速时，如从一路角形（△）接法改为两路星形（Y）接法时即属于恒功率调速。当直流电动机电枢电压不变时，减弱励磁磁通的调速方法，也属于恒功率调速。

（4）恒转矩调速。当异步电动机采取变更磁极对数调速时，如从一路星形（Y）接法改为两路星形（Y）接法就属于恒转矩调速。若直流电动机励磁磁通不变时，调节电枢电压或电枢回路电阻调速，即属于恒转矩调速。

选择恒功率调速或恒转矩调速，均属负载装置、设备等的要求，若为恒功率负载则采用恒功率调速方法；恒转矩负载则采用恒转矩调速方法。这样既能满足生产机械的要求，又能使电动机容量得到充分利用。

异步电动机的转速调节也有多种方法。例如变极调速、电磁调速、并励调速及变频调速等，下面将介绍这些调速控制线路。

第1节　三相变极调速多速电动机控制线路

三相变极多速电动机有单绕组和双绕组两种型式，单绕组是在定子铁芯槽内嵌放一套绕组，双绕组则嵌放两套绕组。调速是通过改变定子绕组接法来使电动机极数变更，从而达到变速目的，它属于一种有级调速方法。常见的有二速、三速和四速等几种型式。

例3-1　单绕组双速电动机2Y/△接法接线原理图

图3-1所示即为单绕组双速电动机2Y/△接法接线原理图。该线路图是通过变换绕组内、外部接线，来改变绕组极数进行调速的。其2Y/△形接法即属于恒功率调速。

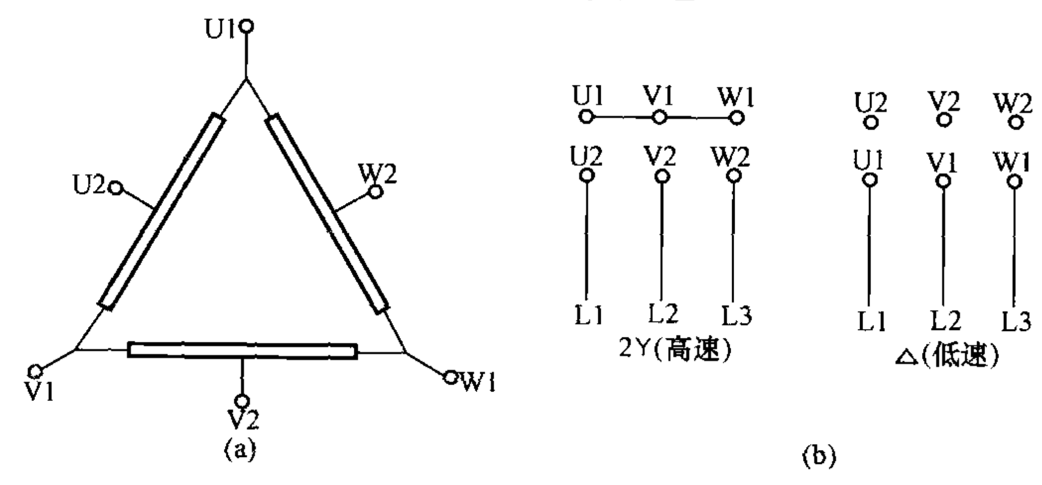


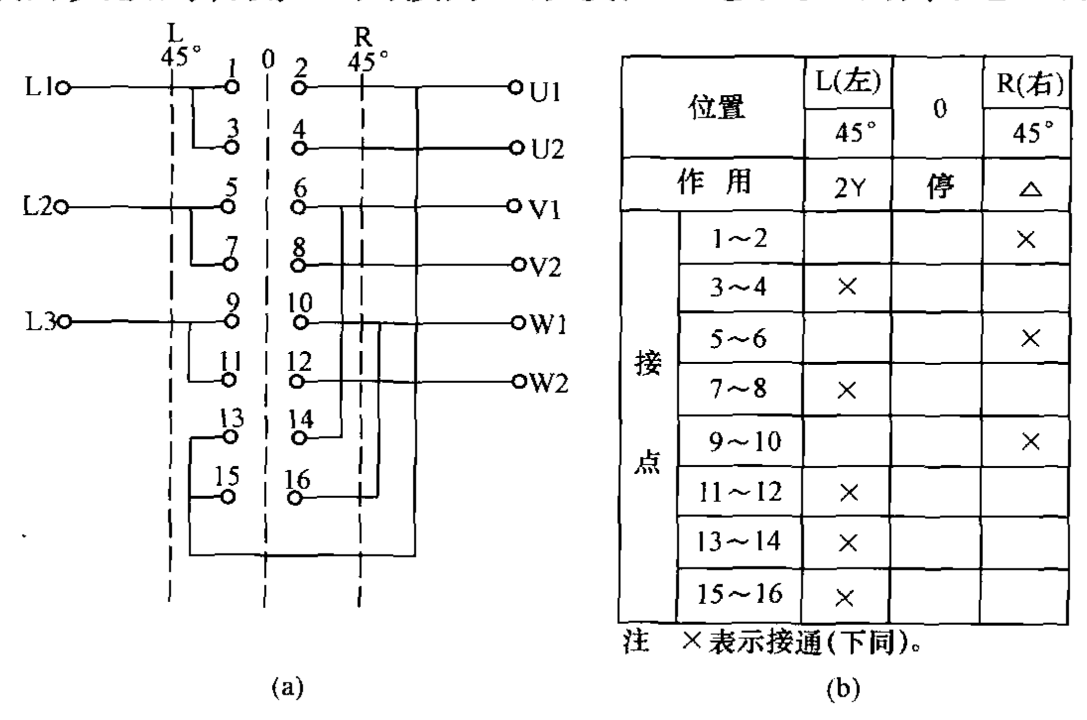
图3-1　单绕组双速电动机2Y/△接法接线原理图

(a) 绕圈接线原理图；(b) 引线端接线示意图

例3-2　单绕组双速电动机2Y/△接法开关控制线路（1）

图3-2所示即为单绕组双速电动机2Y/△接法开关控制线路（1）。该线路采用改装后的LW5万能转换开关进行控制，开关额定电压500V，额定电流15A，此种开关体积小而可靠性很高。当转换开关扳到左边45°位置时，三相电源即接通电动机引

线 U2、V2、W2，电动机另外三根引线 U1、V1、W1 则短接成星形（Y）接点，此时电动机接成 2Y 形接法作低速运行；若将转换开关扳到右侧 45°则接为△形接法，电动机即作高速运行。



位置		L(左) 45°	0	R(右) 45°
作 用		2Y	停	△
接点	1~2			×
	3~4	×		
	5~6			×
	7~8	×		
	9~10			×
	11~12	×		
	13~14	×		
	15~16	×		

注　×表示接通(下同)。

(a)　　　　(b)

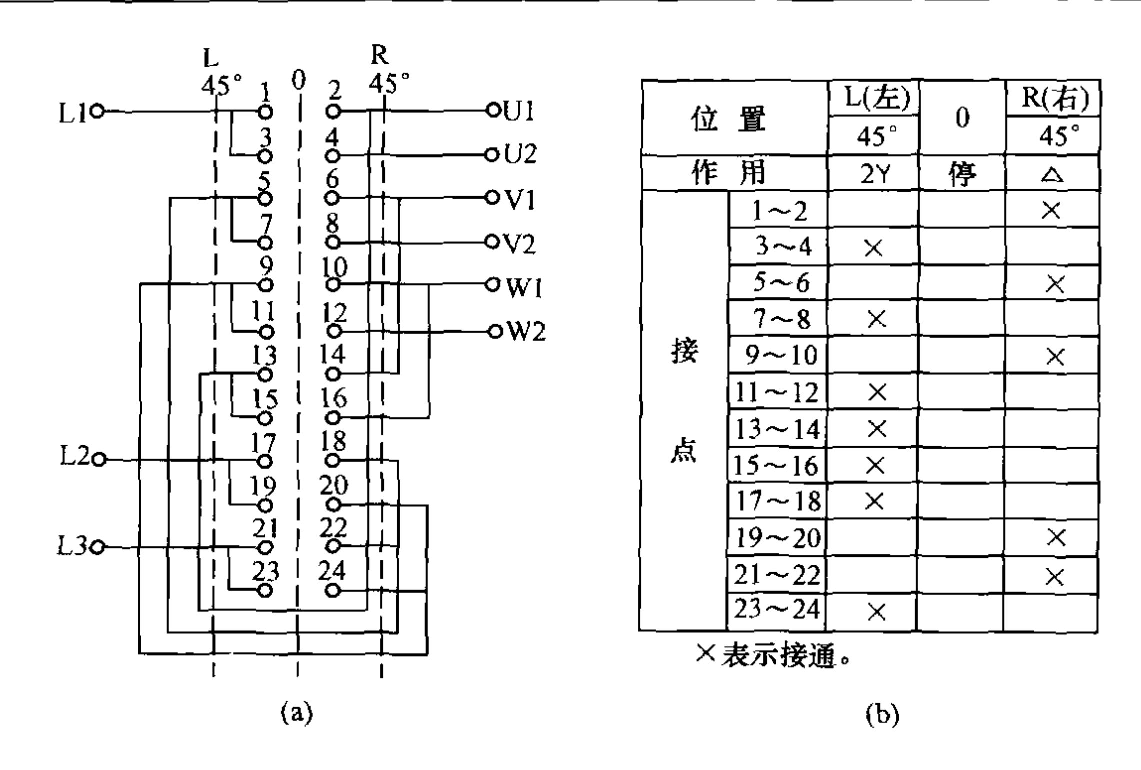
图 3-2　单绕组双速电动机 2Y/△接法开关控制线路（1）
（a）开关接线图；（b）开关各位置触点通断图

例 3-3　单绕组双速电动机 2 Y/△接法开关控制线路（2）

图 3-3 所示即为单绕组双速电动机 2Y/△接法开关控制线路（2）。在图 3-2 的接法中，如电动机两种转速下为反转向方案，而运转时被拖动负载却要求两种转速下同转向，它则无法做到这一点。遇到这种情况就要对转换开关进行改装、改接。这时应该将其中一种转速下电动机的相序调换过来才可达到，这可以通过在开关控制器中增加 4 对触点来解决，开关接线见图 3-3（a），触点通断则见图 3-3（b）。

例 3-4　单绕组双速电动机 2 Y/△接法接触器控制线路（1）

图 3-4 所示即为单绕组双速电动机 2Y/△接法接触器控制线路（1）。该线路由交流接触器 KM1、KM2、KM3 及控制按钮 SB1、SB2、SB3 组成。按钮 SB1 和接触器 KM2、KM3 控制电动机作高速（2Y）运行，而由按钮 SB2 和接触器 KM1 控制电动



位 置		L(左) 45°	0	R(右) 45°
作 用		2Y	停	△
接点	1～2			×
	3～4	×		
	5～6			×
	7～8	×		
	9～10			×
	11～12	×		
	13～14	×		
	15～16	×		
	17～18	×		
	19～20			×
	21～22			×
	23～24	×		

×表示接通。

图 3-3　单绕组双速电动机 2Y/△接法开关控制线路（2）

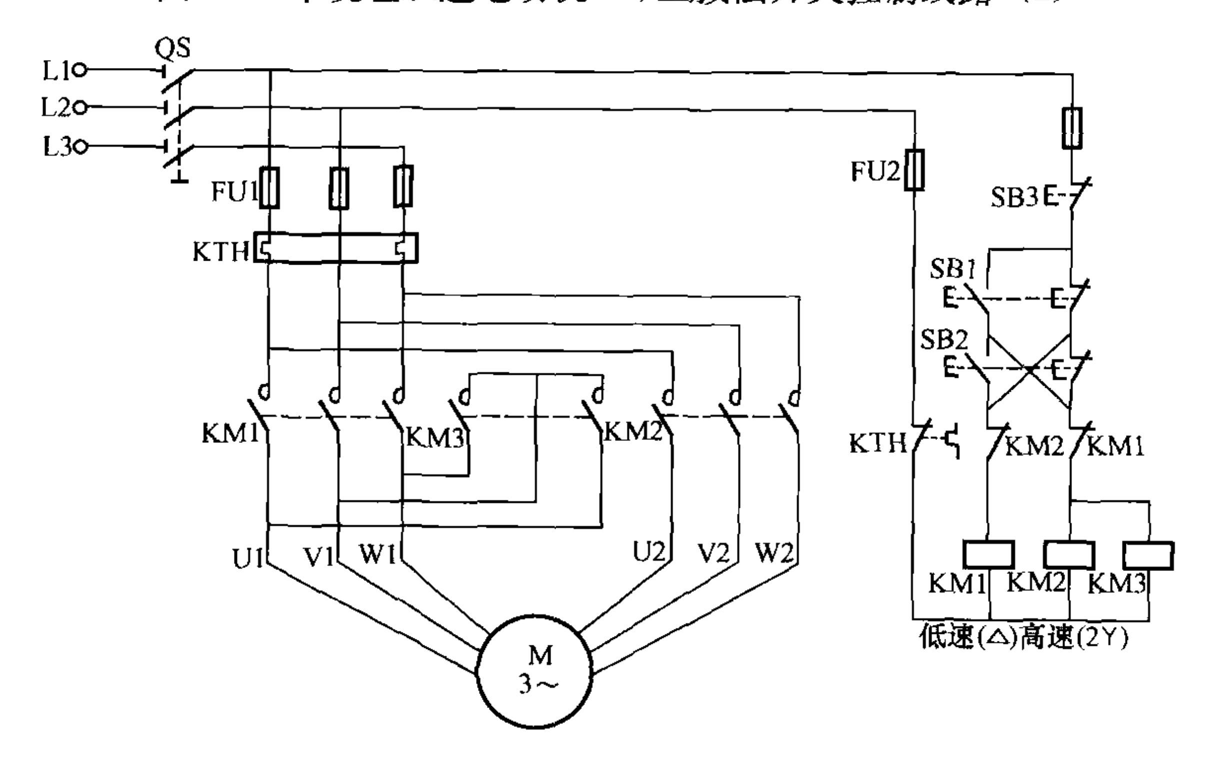


图 3-4　单绕组双速电动机 2Y/△接法接触器控制线路（1）

机作低速运转，SB3 则为停止按钮，KTH 为过载保护。

例 3-5　单绕组双速电动机 2 Y/△接法接触器控制线路（2）

图 3-5 所示即为单绕组双速电动机 2Y/△接法接触器控制线路（2）。该线路由三只交流接触器 KM1、KM2、KM3 和控制按

钮 SB1、SB2、SB3 等组成。它由接触器 KM1、控制按扭 SB1 配合一起控制电动机低速运行，而由接触器 KM2、KM3、按钮 SB1 控制电动机作高速运行。按钮 SB3 则为停止按钮，热继电器则为电动机过载保护。

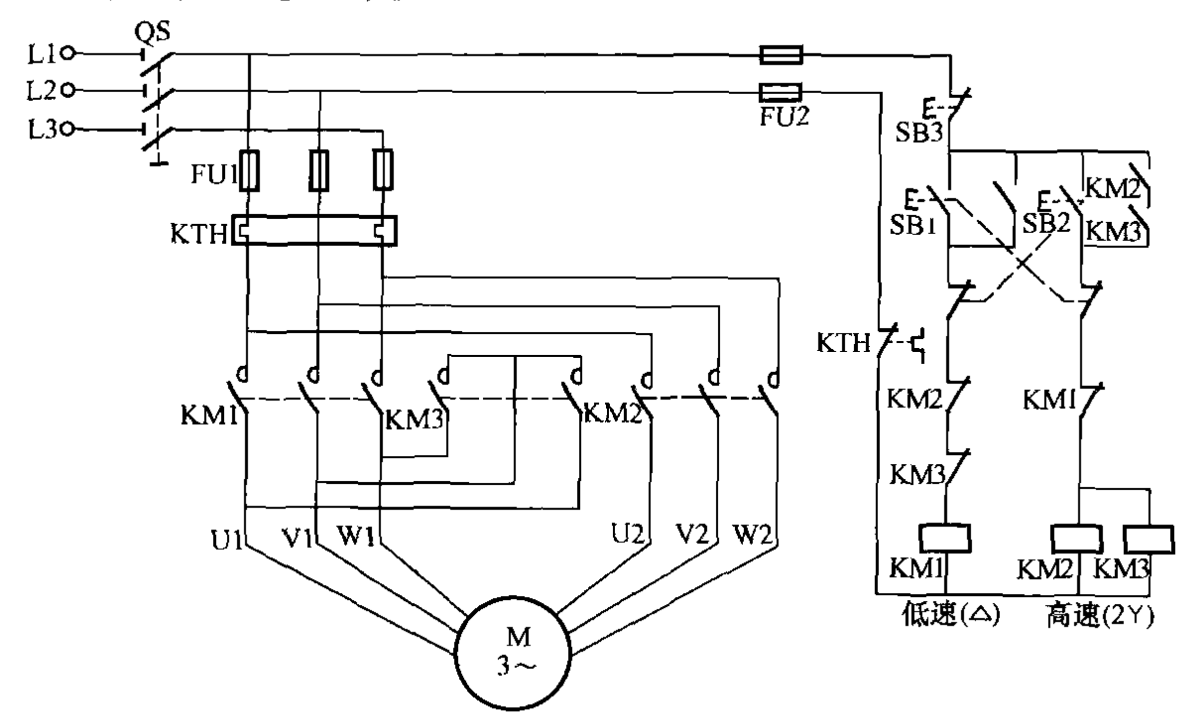


图 3-5　单绕组双速电动机 2Y/△接法接触器控制线路（2）

例 3-6　单绕组双速电动机 2 Y/△接法三接触器控制线路

图 3-6 所示即为单绕组双速电动机 2Y/△接法三接触器控制线路。该线路由接触器 KM1 和起动按钮 SB1、停止按钮 SB3 控制电动机作△形接法低速运行。而由接触器 KM2、KM3 和起动按钮 SB2、停止按钮 SB3 控制电动机作 2Y 接法高速运行，为提高可靠性采用两只 KTH 保护。

例 3-7　单绕组双速电动机 2 Y/△接法手动控制线路

图 3-7 所示即为单绕组双速电动机 2Y/△接法手动控制线路。该线路主要由交流接触器 KM1、KM2、KM3、控制按钮 SB1、SB2、SB3 及指示灯、过载保护等电气元件组成。线路中的电动机无论运行在哪一种转速下，线路中均将有信号指示。

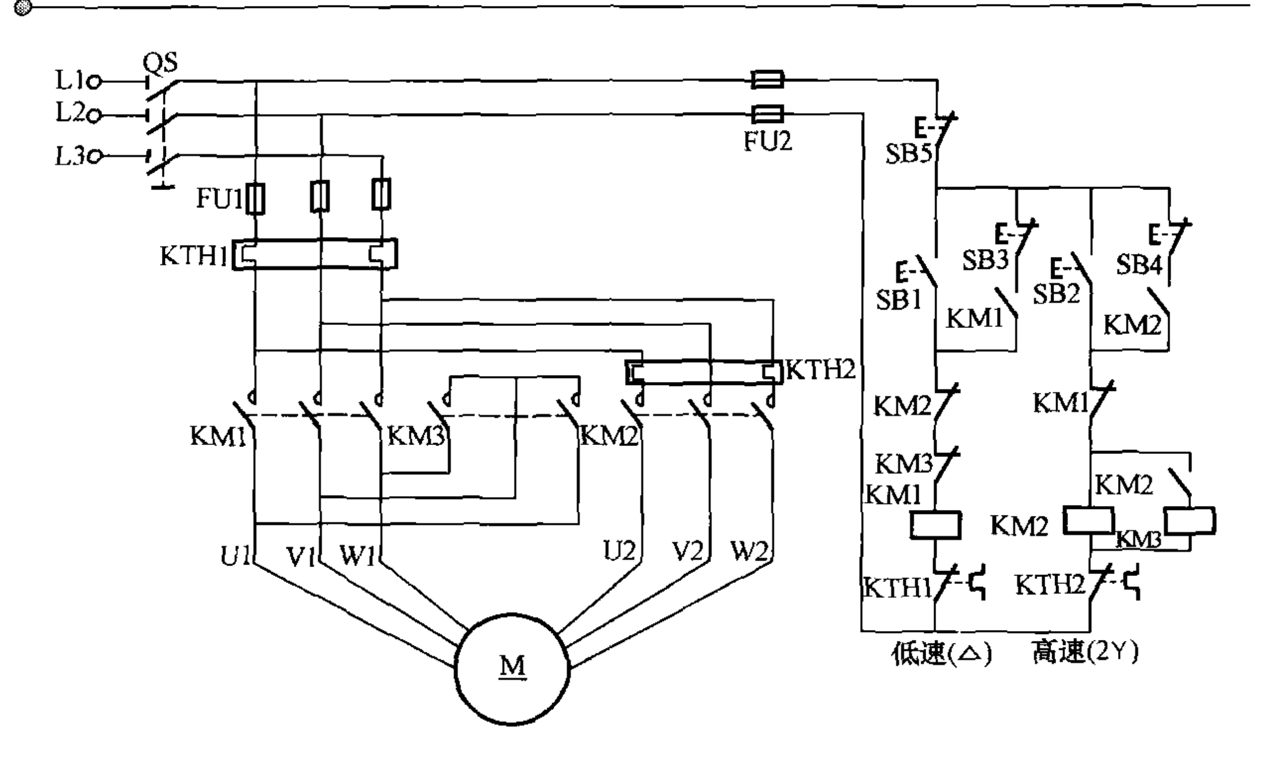


图 3-6　单绕组双速电动机 2Y/△接法三接触器控制线路

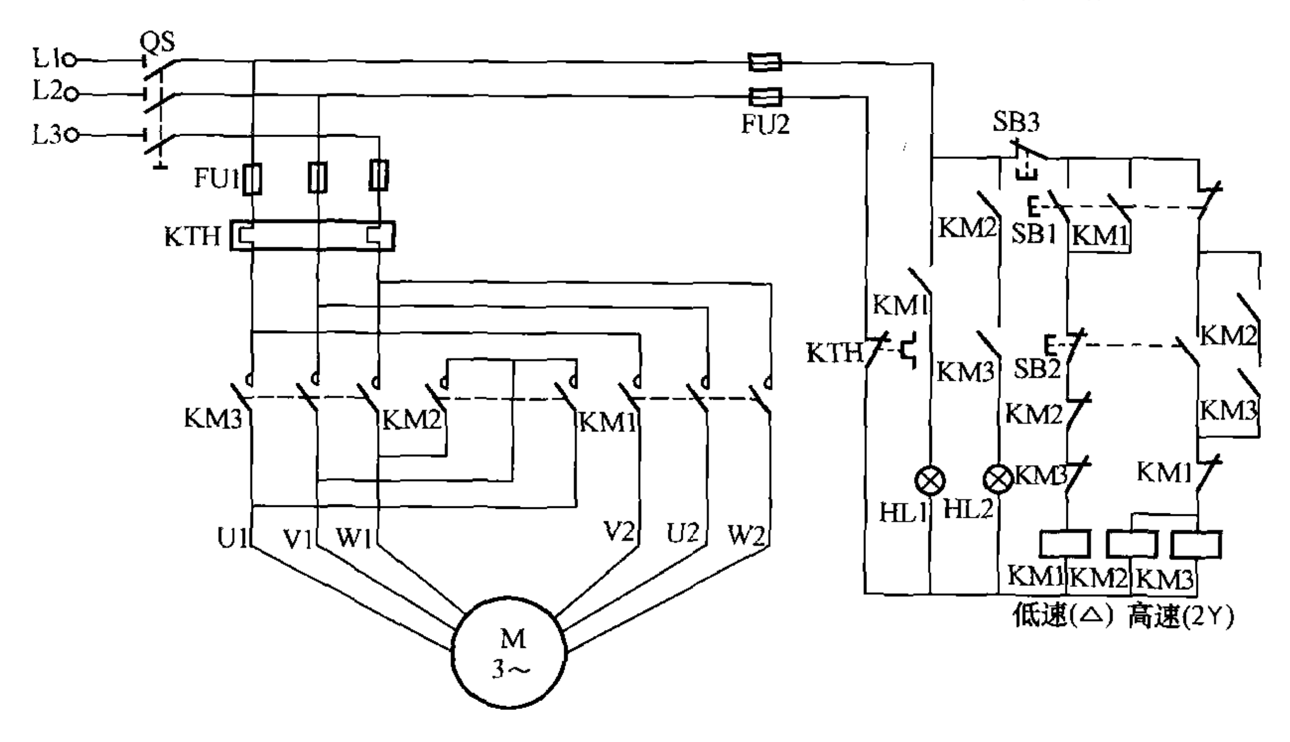


图 3-7　单绕组双速电动机 2Y/△接法手动控制线路

例 3-8　单绕组双速电动机 2 Y/△接法自动控制线路

图 3-8 所示即为单绕组双速电动机 2Y/△接法自动控制线路。该线路由交流接触器 KM1、KM2、KM3 和时间继电器 KT、万能转换开关 SA 等组成。接触器 KM1 控制电动机接成△

接法低速运行，而 KM2、KM3 则控制电动机接成 2Y 按高速运行，时间继电器 KT 控制电动机起动时间和 2Y/△的转换。

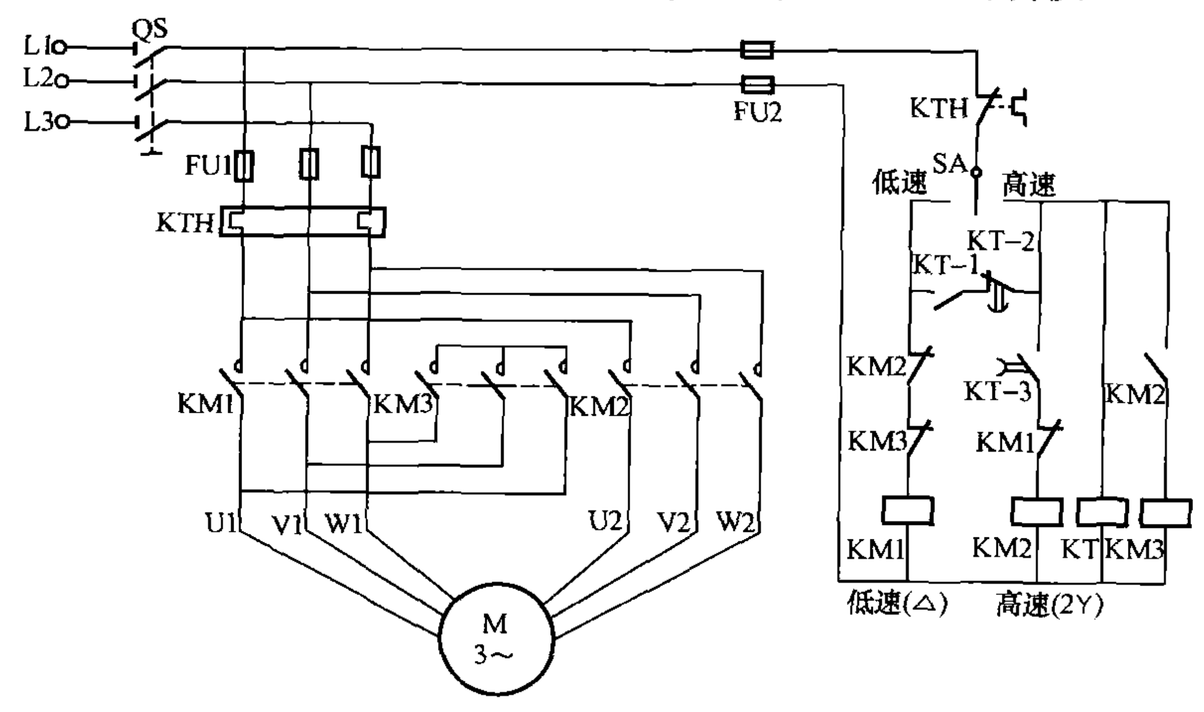


图 3-8　单绕组双速电动机 2Y/△接法自动控制线路

例 3-9　单绕组双速电动机 2 Y/△接法带中间、时间继电器控制线路

图 3-9 所示即为单绕组双速电动机 2Y/△接法带中间、时间

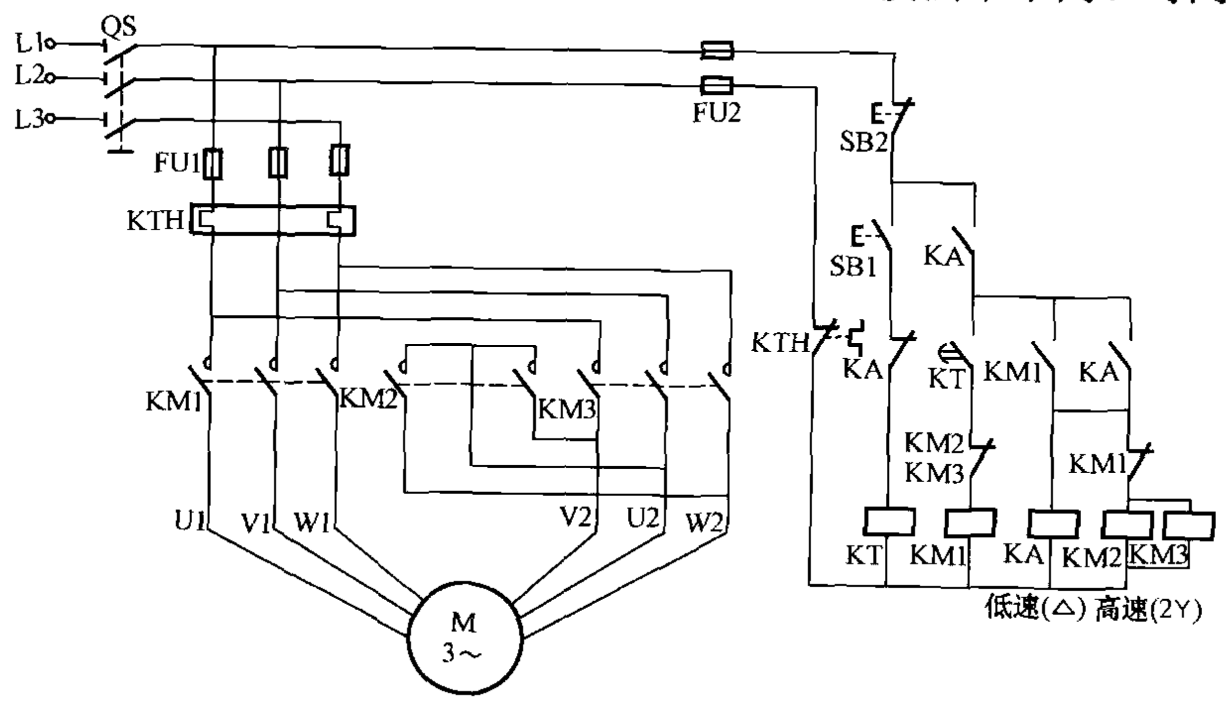


图 3-9　单绕组双速电动机 2Y/△接法带中间、时间继电器控制线路

继电器控制线路。该线路配置有中间继电器 KA 和时间继电器 KT 控制接触器 KM1，接通 U1、V1、W1 的电源，电动机绕组接成△形作低速运行，然后由中间继电器 KA 控制接法的转换。

例 3-10 单绕组双速电动机 2 Y/△接法手动、自动控制线路 (1)

图 3-10 所示即为单绕组双速电动机 2Y/△接法手动、自动控制线路（1）。该线路具有手动调速与自动调速两种运行方式，它是通过控制开关 SA 两种不同位置来选择的。当控制开关 SA 在自动调速位置时，按下起动按钮 SB1 后，电动机即能从低速△形接法自动转换到高速 2Y 接法。若控制开关处于手动位置时，则可经控制按钮 SB1、SB2 手动操作转换。

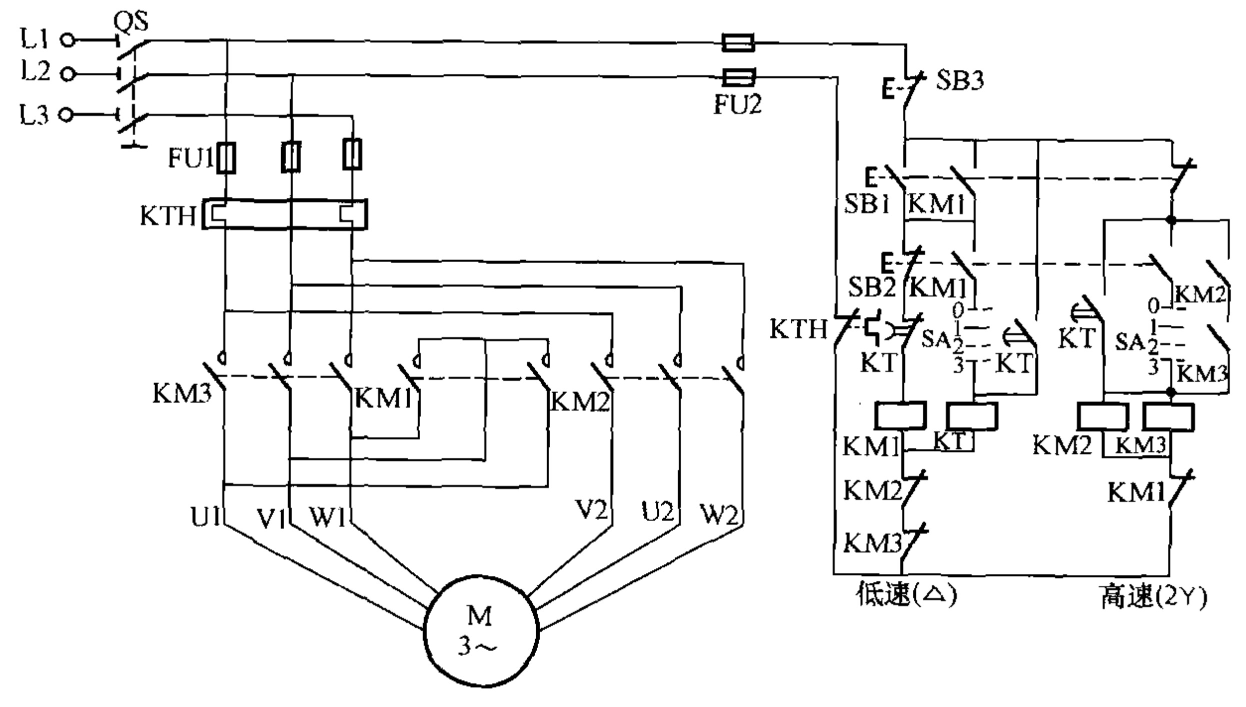


图 3-10 单绕组双速电动机 2Y/△接法手动、自动控制线路（1）

例 3-11 单绕组双速电动机 2 Y/△接法手动、自动控制线路 (2)

图 3-11 所示即为单绕组双速电动机 2Y/△接法手动、自动控制线路（2）。该线路主要由三只接触器 KM1、KM2、KM3 和时间继电器 KT、转换开关 SA 及控制按钮 SB1、SB2、SB3、热继电器 KTH 等电气元件组成。其手动调速与自动调速的两种运

行方式是通过控制开关SA来实现的。电动机在两种转速下则均有信号指示。

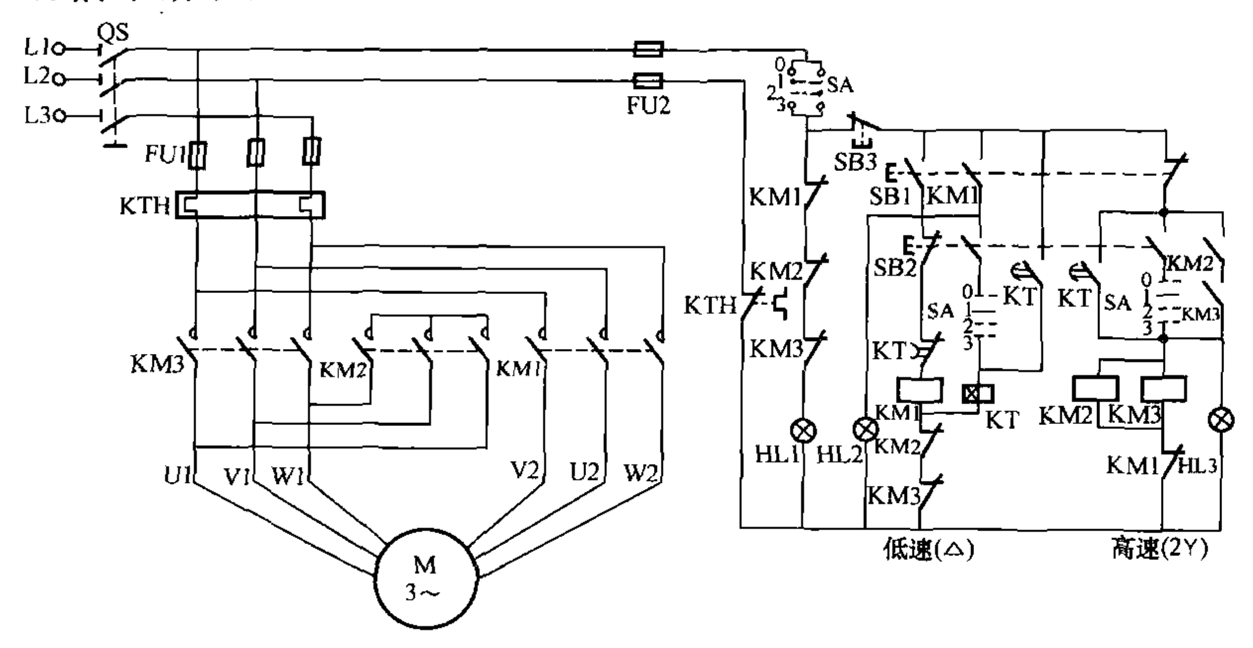


图3-11　单绕组双速电动机2Y/△接法手动、自动控制线路（2）

例3-12　单绕组双速电动机2Y/Y接法接线原理图

图3-12所示即为单绕组双速电动机2Y/Y接法接线原理图。该线路中当电源L1、L2、L3相分别依次接通引出线U2、V2、W2，而U1、V1、W1短接时，电动机绕组接成2Y接法；当将引出线端U1、V1、W1分别与电源L1、L2、L3相接，而U2、V2、W2空置不接时，此时电动机绕组接成Y接

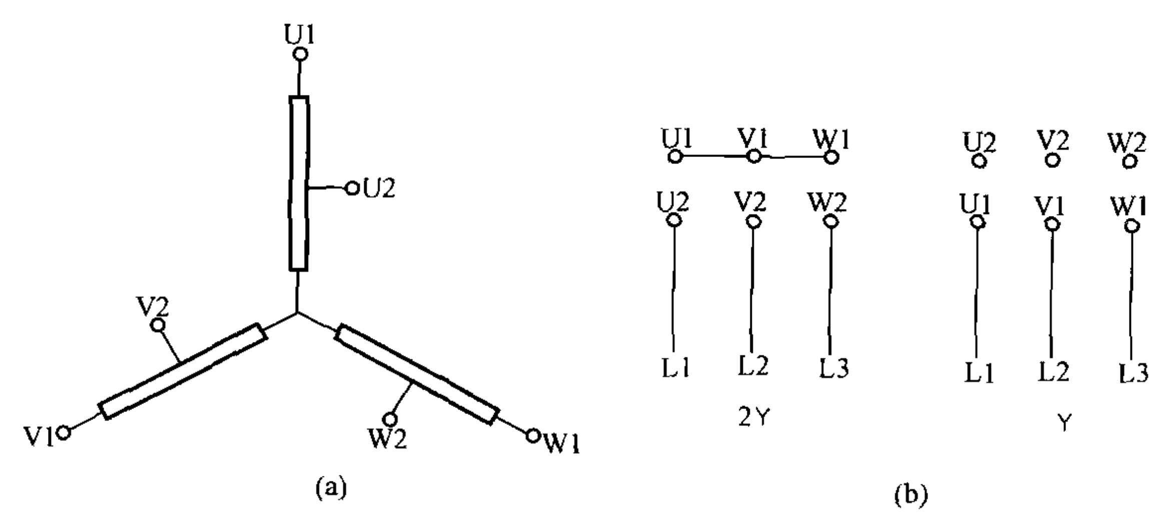


图3-12　单绕组双速电动机2Y/Y接法接线原理图

（a）绕组接线原理图；（b）引线端接线示意图

法。这种单绕组 2Y/Y 接法的双速电动机，也可以采用开关控制和交流接触器控制，开关接线和控制电路均与 2Y/△接法时相同。

例 3-13　单绕组双速电动机 2Y/Y 接法控制线路

图 3-13 所示即为单绕组双速电动机 2Y/Y 接法控制线路。该线路采用交流接触器和按钮进行控制。当按下起动按钮 SB1 时，接触器 KM1 得电接通电路，电动机绕组接成 2Y 接法。SB3 则为总停止按钮。

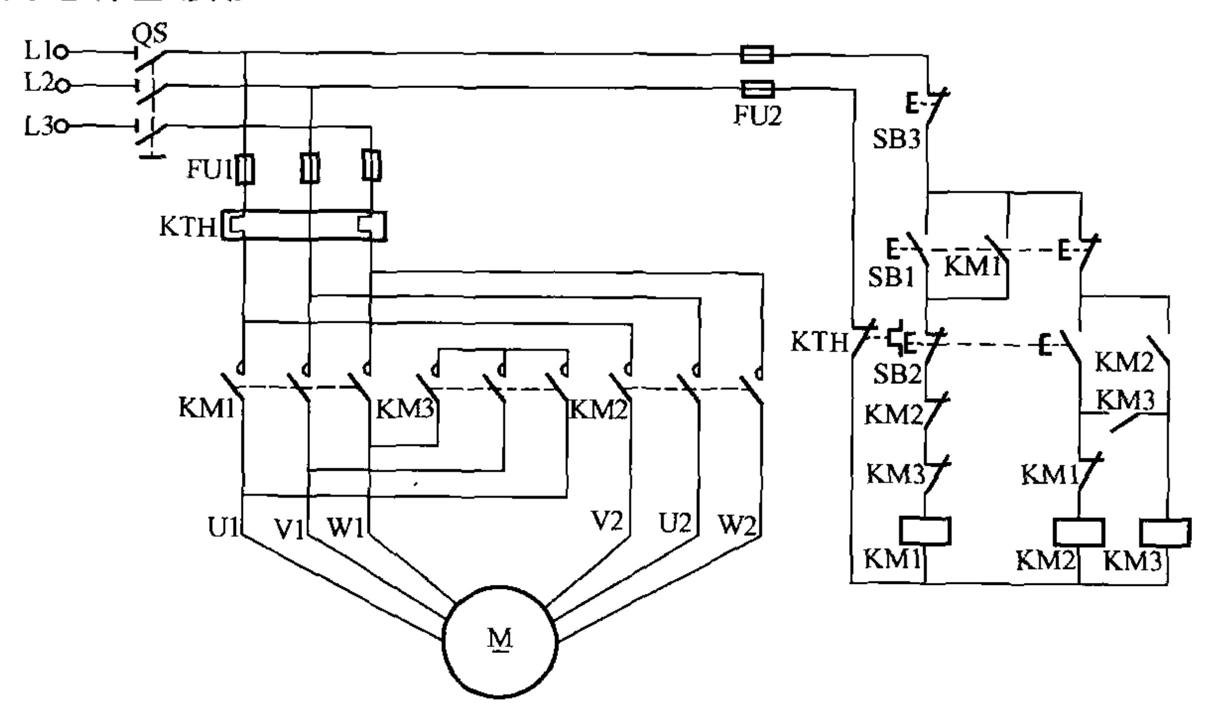


图 3-13　单绕组双速电动机 2Y/Y 接法控制线路

例 3-14　单绕组双速电动机 2△/Y 接法接线原理图

图 3-14 所示即为单绕组双速电动机 2△/Y 接法接线原理图。这种 2△/Y 双速电动机可用控制开关和交流接触器两种方法控制，从图（b）中可以看出，当电源 L1 相接通引线 W1、U3、U1；L2 相接通 V3、V1、U2；L3 相接通 W2、V2 时，电动机绕组即接成 2△接法。当绕组按 1Y 接法时亦如示意图所示。

例 3-15　单绕组双速电动机 2△/Y 接法开关控制线路

图 3-15 所示即为单绕组双速电动机 2△/Y 接法开关控制线

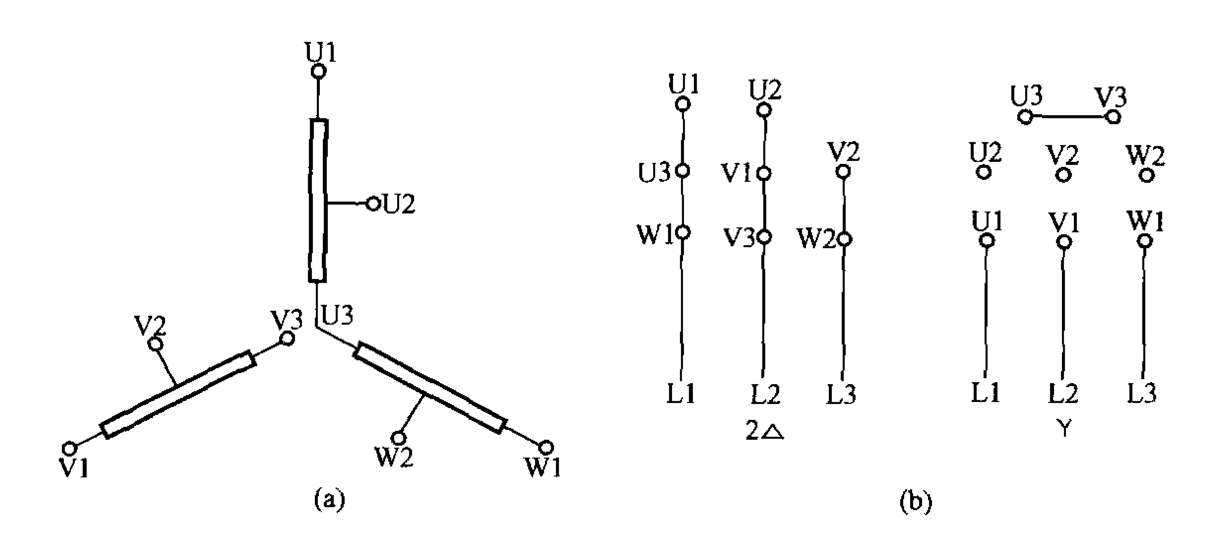
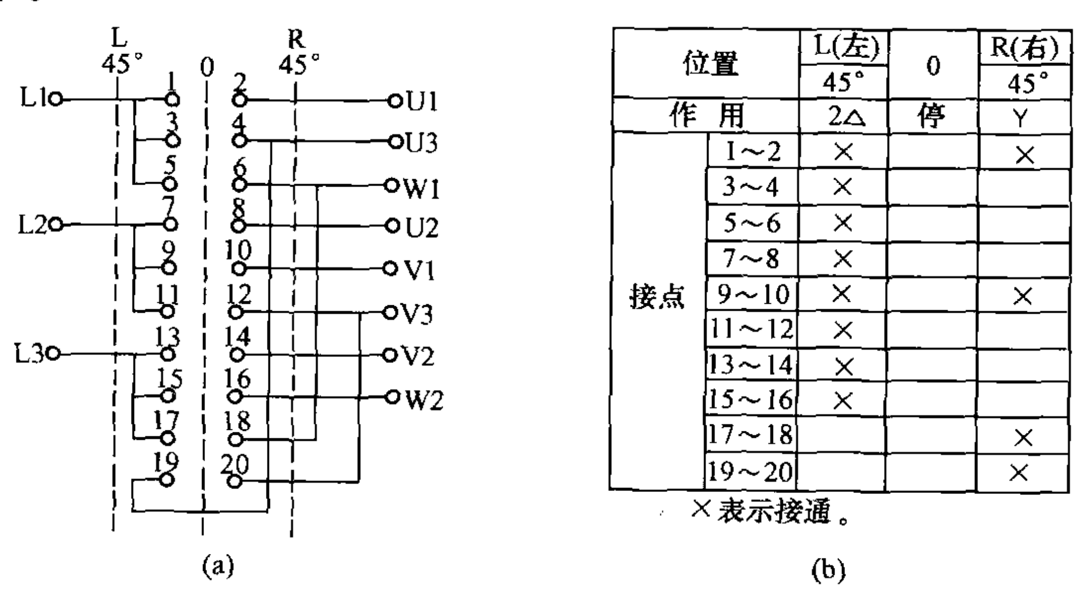


图 3-14　单绕组双速电动机 2△/Y 接法接线原理图

（a）绕组接线原理图；（b）引线端接线示意图

路。该线路采用 LW5 万能转换开关经改装后进行控制。其控制接线见图 3-15（a），各位置接点的通断情况则如图 3-15（b）所示。



位置		L(左) 45°	0	R(右) 45°
作　用		2△	停	Y
接点	1～2	×		×
	3～4	×		
	5～6	×		
	7～8	×		
	9～10	×		×
	11～12	×		
	13～14	×		
	15～16	×		
	17～18			×
	19～20			×

×表示接通。

(b)

图 3-15　单绕组双速电动机 2△/Y 接法开关控制线路

例 3-16　单绕组双速电动机 2△/Y 接法接触器控制线路

图 3-16 所示即为单绕组双速电动机 2△/Y 接法接触器控制线路。该线路操作时，按下起动按钮 SB1，这时接触器 KM1、KM2、KM3 均得电闭合，电源 L1 相接通引出线 U1、U3、W1；L2 相接通 U2、V1、V3；L3 相接通 V2、W2，电动机绕组被接

成 2△接法运行接触器辅助触点起自保和联锁作用。按动起动按钮 SB2 时，电动机绕组则按 2Y 形接法运转。

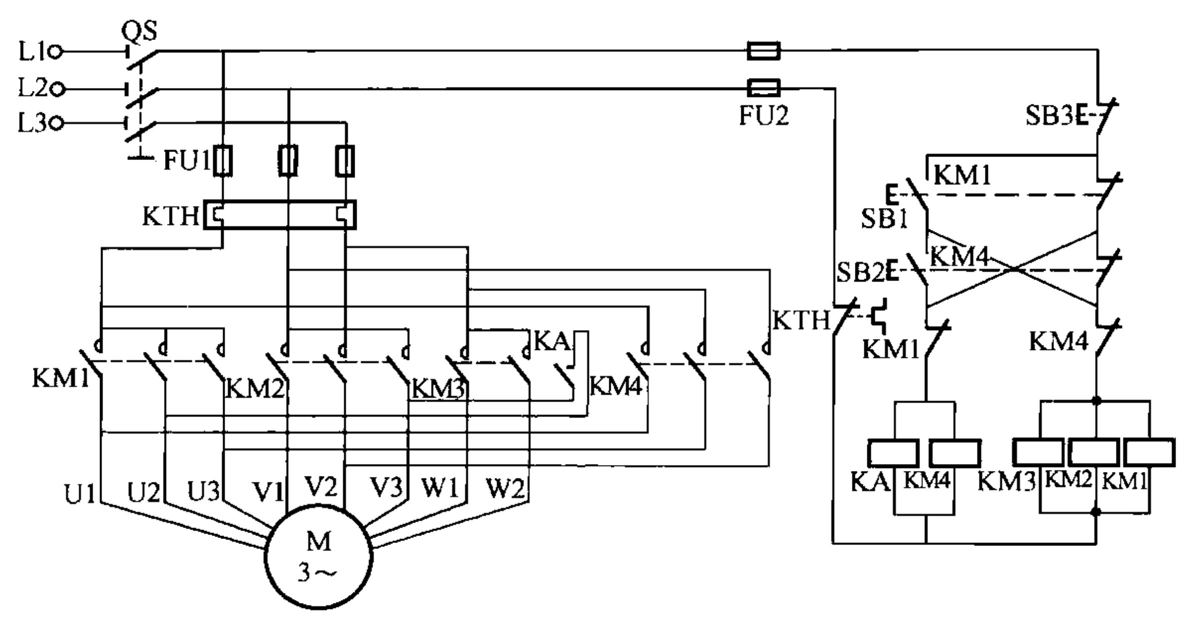


图 3-16 单绕组双速电动机 2△/Y 接法接触器控制线路

例 3-17 单绕组双速电动机 2 Y /2 Y 接法接线原理图

图 3-17 所示即为单绕组双速电动机 2Y/2Y 接法接线原理图。该电动机绕组引出线端为 9 根，当电源 L1 相接通引出线 U1、U2；L2 相接通 V1、V2；L3 相接通 W1、W2，而 U3、V3、W3 被短接时，电动机绕组 2Y 接法运行。若要接成另一种 2Y 接法时，则 L1 相接通 U1、U3，L2 相接通 V1、V3，L3 相接通 W1、W3，引出线 U2、V2、W2 则予短接即可。

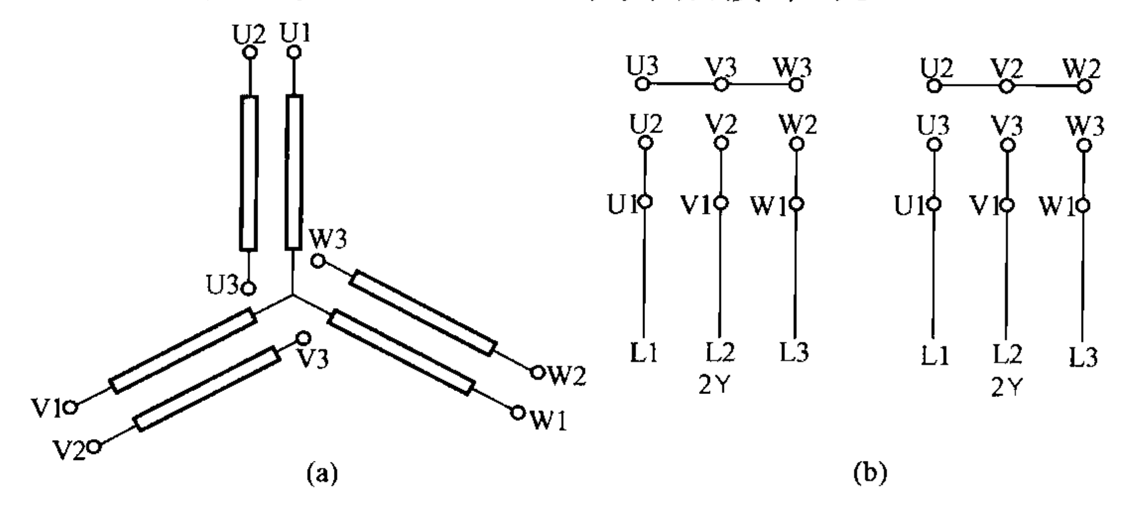
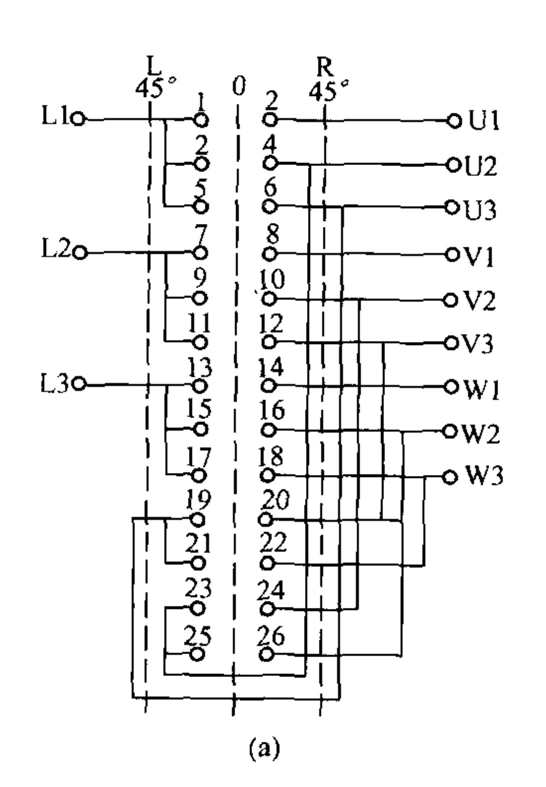


图 3-17 单绕组双速电动机 2Y/2Y 接法接线原理图

(a) 绕组接线原理图；(b) 引线端接线示意图

例 3-18　单绕组双速电动机 2Y/2Y 接法开关控制线路

图 3-18 所示即为单绕组双速电动机 2Y/2Y 接法开关控制线路。该线路采用 LW5 万能转换开关改装后进行控制，其接线图见图 3-18（a），各位置接点的通断情况则如图 3-18（b）所示。



(a)

位　置		L(左) 45°	0	R(右) 45°
作　用		2Y	停	2Y
接点	1～2	×		×
	3～4	×		
	5～6			×
	7～8	×		×
	9～10	×		
	11～12			×
	13～14	×		×
	15～16	×		
	17～18			×
	19～20	×		
	21～22	×		
	23～24			×
	25～26			×

×表示接通。

(b)

图 3-18　单绕组双速电动机 2Y/2Y 接法开关控制线路

（a）万能转换开关控制图；（b）各位置接点的通断图

例 3-19　单绕组双速电动机 2Y/2Y 接法接触器控制线路

图 3-19 所示即为单绕组双速电动机 2Y/2Y 接法接触器控制线路。该线路操作时，按下起动按钮 SB1，这时接触器 KM1、KM2、KA1 得电闭合，电源 L1、L2、L3 分别接通电动机引出线 U1、U2，V1、V2，W1、W2，引出线 U3、V3、W3 则短接，电动机绕组即接成第一种 2Y 接法。若联接第二种 2Y 接法时，则 L1、L2、L3 分别接 U1、V3，V1、V3，W1、W3，U2、V2、W2 短接即可。

例 3-20　单绕组双速电动机△/△接法接线原理图

图 3-20 所示即为单绕组双速电动机△/△接法接线原理图。

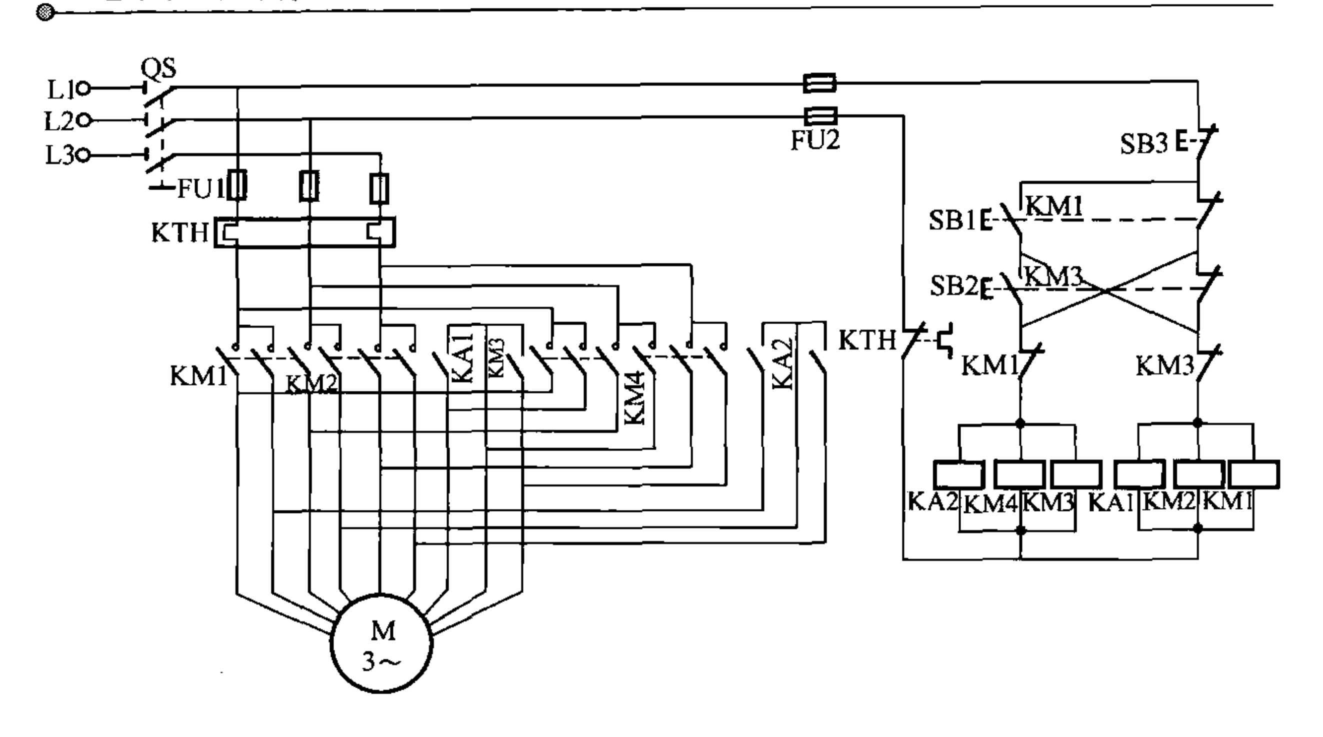


图 3-19　单绕组双速电动机 2Y/2Y 接法接触器控制线路

该电动机绕组在两种转速下均按△接法联接。当电源 L1 相接通电动机引出线 U2、U3，L2 相接通 V2、V3，L3 相接通 W2、W3，引出线 U1、V1、W1 空置不接时，电动机绕组即接成第一种△接法运行。而当电源 L1 相接通引出线 V1、U3，L2 相接通 U1、W3，L3 相接通 W1、V3，引出线 U2、V2、W2 空置不接时，则电动机绕组就接成第二种△接法。△/△接法双速电动机也可分别采用转换开关和接触器控制。

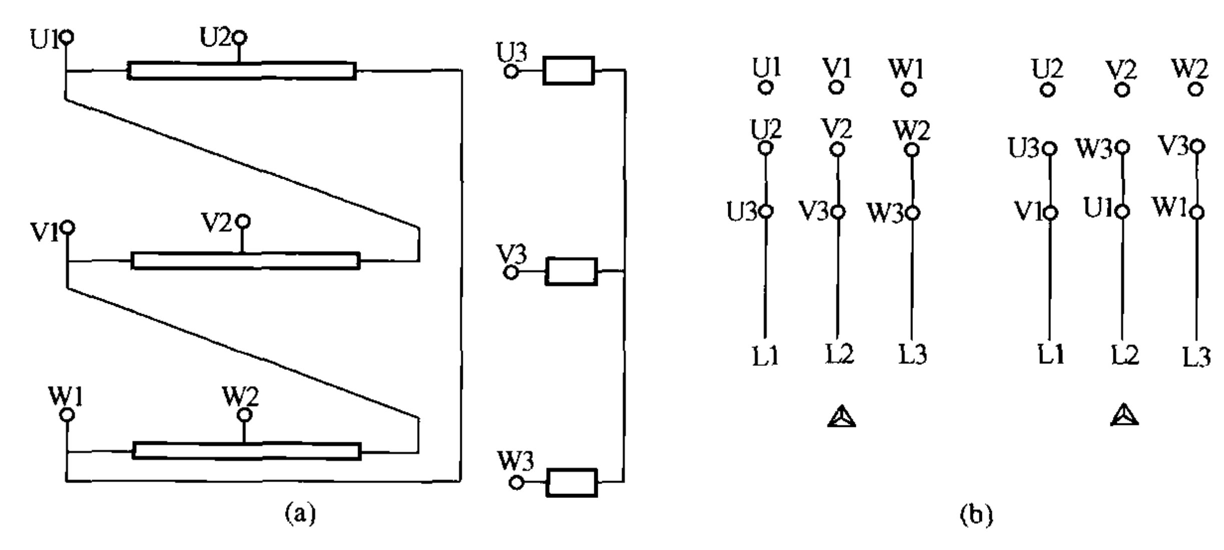
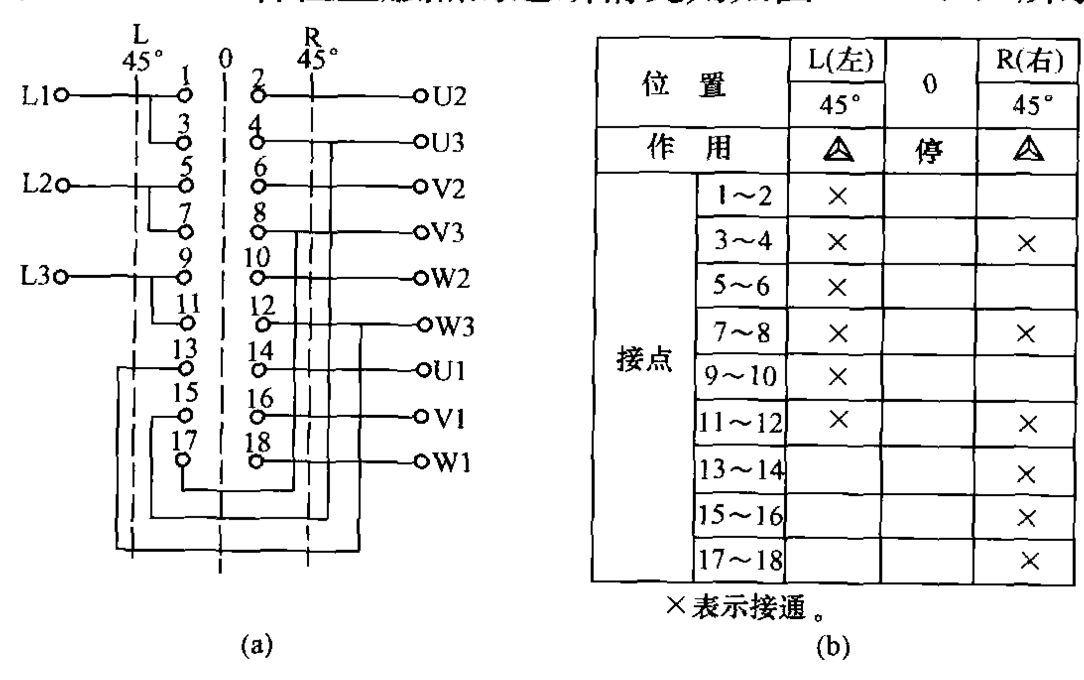


图 3-20　单绕组双速电动机△/△接法接线原理图

(a) 绕组接线原理图；(b) 引线端接线示意图

例3-21　单绕组双速电动机△/△接法开关控制线路（两种转速反转向）

图3-21所示即为单绕组双速电动机△/△接法开关控制线路。该线路采用LW5万能转换开关改装后进行控制，其接线图见图3-21（a），各位置触点的通断情况则如图3-21（b）所示。



位　置		L(左) 45°	0	R(右) 45°
作　用		△	停	△
接点	1～2	×		
	3～4	×		×
	5～6	×		
	7～8	×		×
	9～10	×		
	11～12	×		×
	13～14			×
	15～16			×
	17～18			×

×表示接通。

(b)

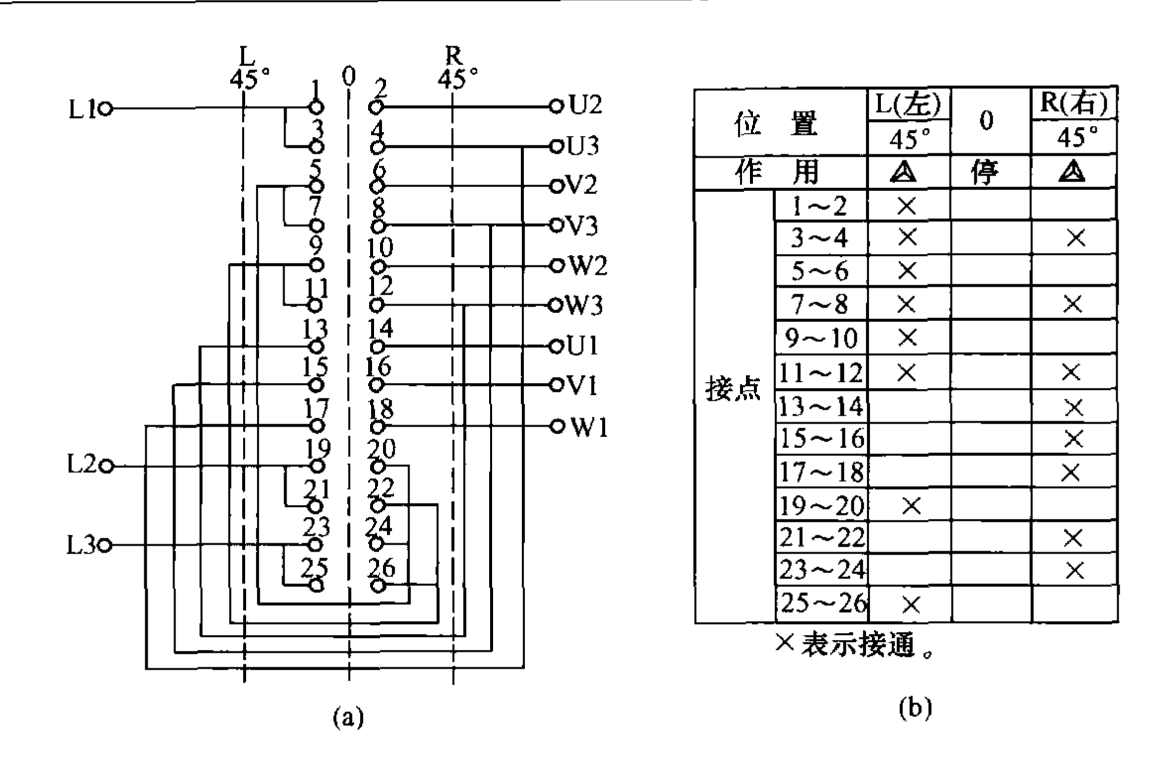
图3-21　单绕组双速电动机△/△接法开关控制线路（两种转速反转向）

例3-22　单绕组双速电动机△/△接法开关控制线路（两种转速同转向）

图3-22所示即为单绕组双速电动机△/△接法开关控制线路。在图3-21中，电动机在两种转速下其旋转方向相反。而在本线路中则增加了4对触点，将电源相序反接过来，这样电动机在两种转速下即为同转向了。

例3-23　单绕组双速电动机△/△接法接触器控制线路

图3-23所示即为单绕组双速电动机△/△接法接触器控制线路。该线路操作时，按下起动按钮SB1，接触器得电闭合，电源L1、L2、L3相分别接通电动机引出线U3、U2，V3、V2，W3、W2，引出线U1、V1、W1则空置不接，电动机绕组即接成第一



(a)

位置	L(左) 45°	0	R(右) 45°
作用	△	停	△
接点 1～2	×		
3～4	×		×
5～6	×		
7～8	×		×
9～10	×		
11～12	×		×
13～14			×
15～16			×
17～18			×
19～20	×		
21～22			×
23～24			×
25～26	×		

×表示接通。

(b)

图 3-22　单绕组双速电动机△/△接法开关控制线路
（两种转速同转向）

种△接法。若将电源 L1、L2、L3 相分别接通 V1、U3，U1、W3，W1、V3，而 U2、V2、W2 则空置不接，即接成第二种△接法。

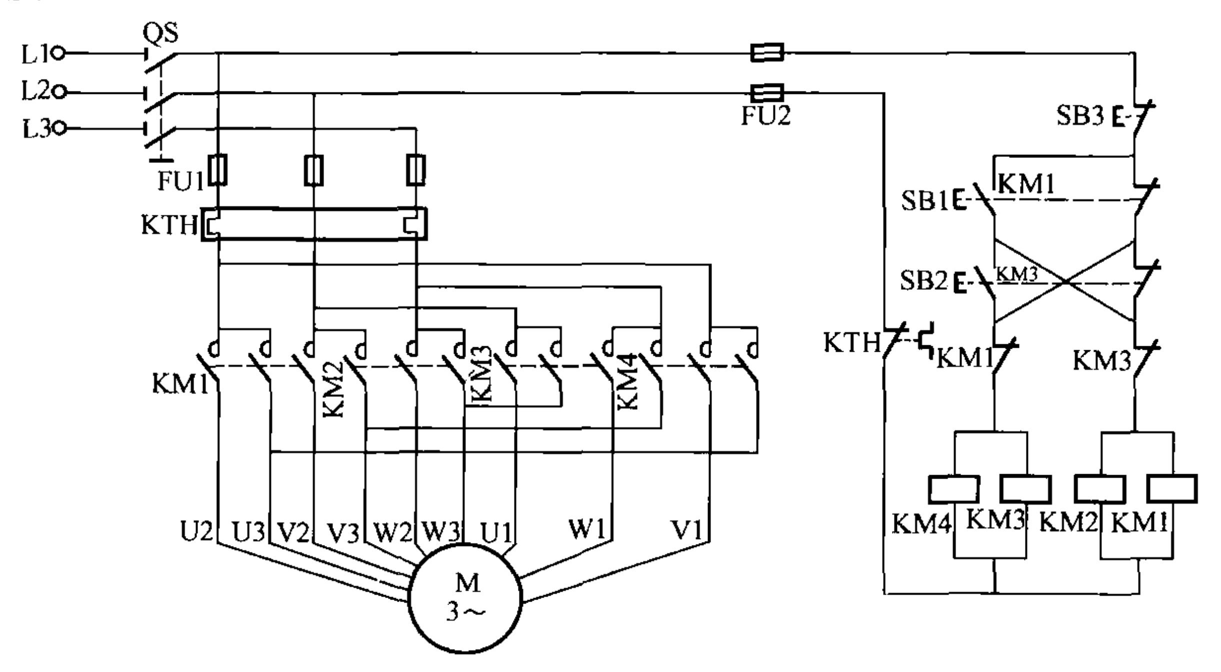


图 3-23　单绕组双速电动机△/△接法接触器控制线路

例 3-24　单绕组三速电动机 2Y/2Y/2Y 接法接线原理图

图 3-24 所示即为单绕组三速电动机 2Y/2Y/2Y 接法接线原理图。该线路在三种转速下均接成 2Y 接法，也均可用开关和接触器组合两种方法进行控制。

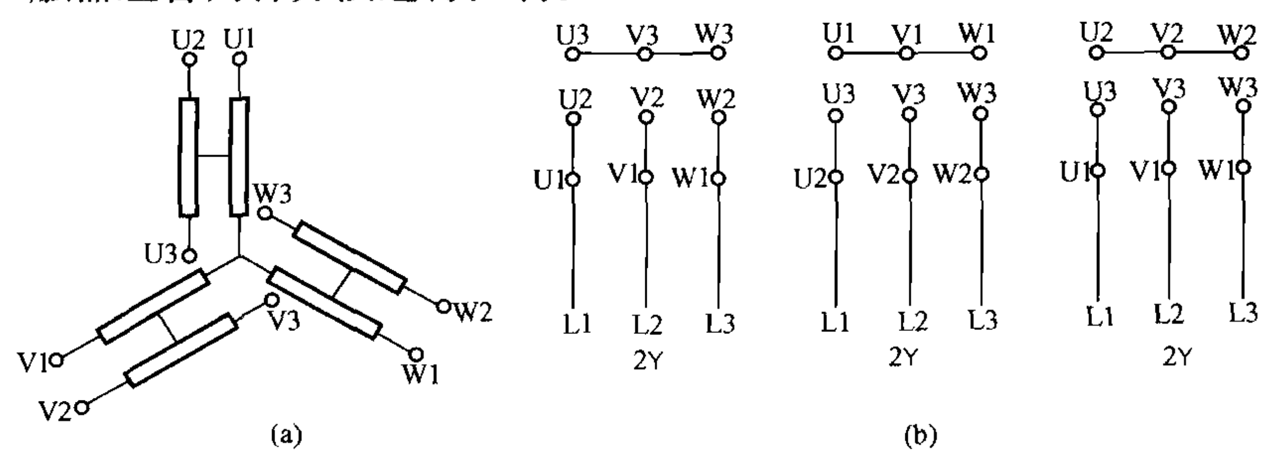
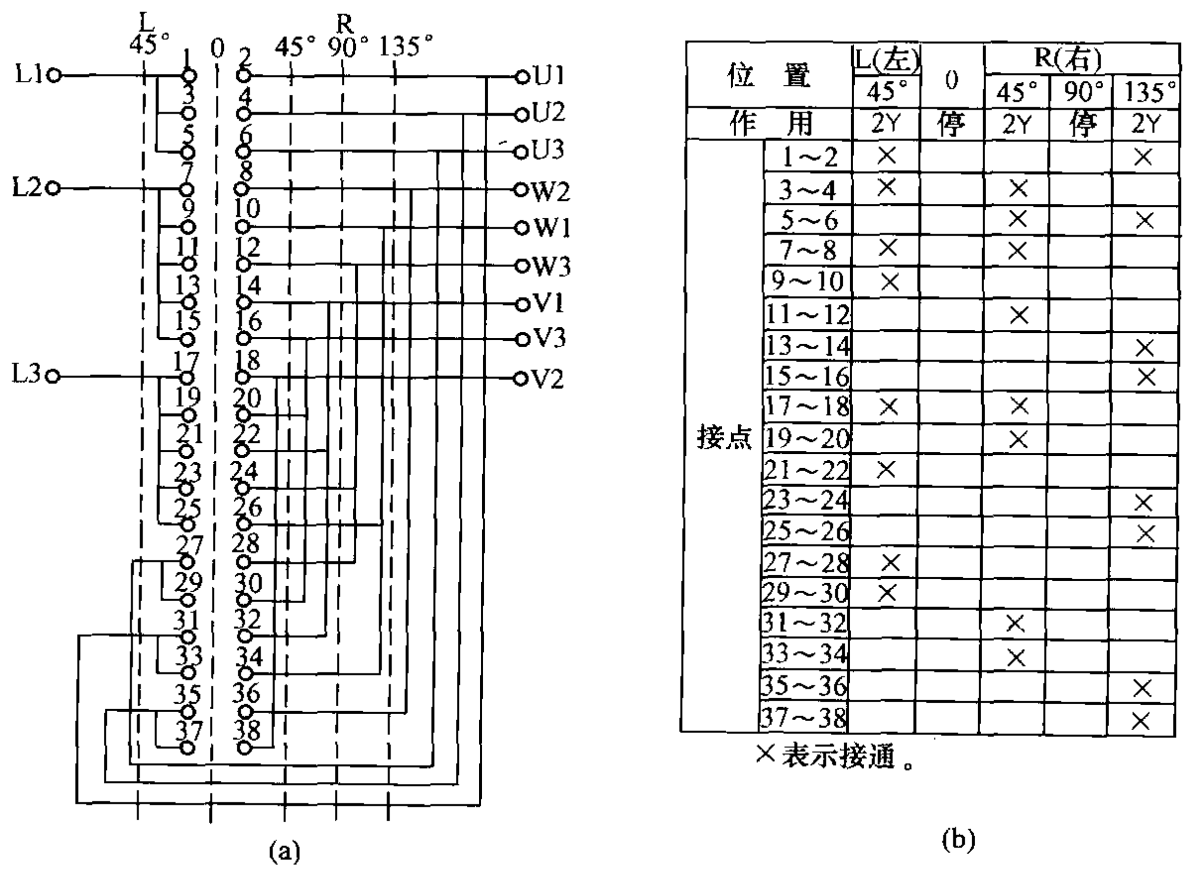


图 3-24　单绕组三速电动机 2Y/2Y/2Y 接法接线原理图
（a）绕组接线原理图；（b）引线端接线示意图

例 3-25　单绕组三速电动机 2Y/2Y/2Y 接法开关控制线路

图 3-25 所示即为单绕组三速电动机 2Y/2Y/2Y 接法开关控



位置		L(左) 45°	0	R(右) 45°	90°	135°
作用		2Y	停	2Y	停	2Y
接点	1～2	×				×
	3～4	×		×		
	5～6			×		×
	7～8	×		×		
	9～10	×				
	11～12			×		
	13～14					×
	15～16					×
	17～18	×		×		
	19～20			×		
	21～22	×				
	23～24					×
	25～26					×
	27～28	×				
	29～30	×				
	31～32			×		
	33～34			×		
	35～36					×
	37～38					×

×表示接通。

图 3-25　单绕组三速电动机 2Y/2Y/2Y 接法开关控制线路
（a）LW5 万能转换开关接线图；（b）各位置通断情况

制线路。其接线图见图 3-25（a），各位置接点的通断情况则如图 3-25（b）所示。

例 3-26　单绕组三速电动机 2Y/2Y/2Y 接法接触器控制线路

图 3-26 所示即为单绕组三速电动机 2Y/2Y/2Y 接法接触器控制线路。该线路采用接触器和双向按钮组成，因而在变换转速时无须先按停止按钮，只须直接变换即可。

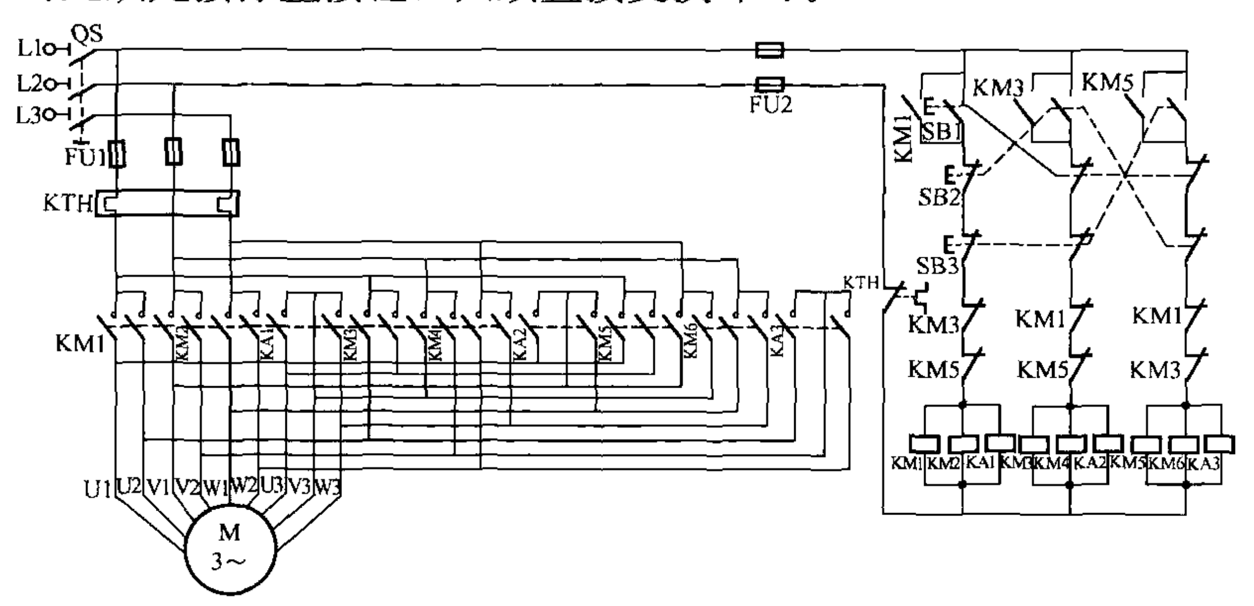


图 3-26　单绕组三速电动机 2Y/2Y/2Y 接法接触器控制线路

例 3-27　单绕组三速电动机 2△/2△/2Y 接法接线原理图

图 3-27 所示即为单绕组三速电动机 2△/2△/2Y 接法接线原理图。该线路在三种转速下均可分别按 2△/2△/2Y 进行联接，它也可采用开关和接触器两种方式控制。

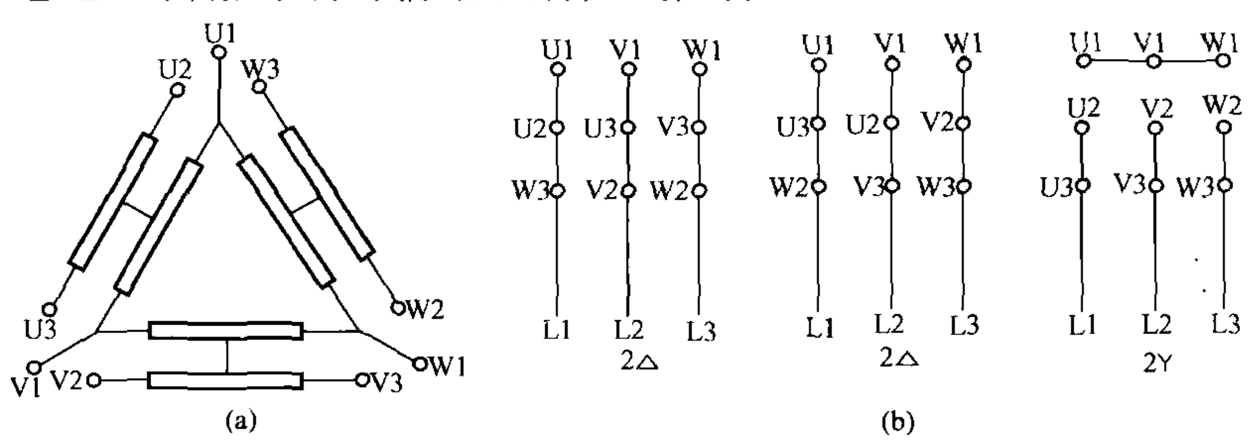
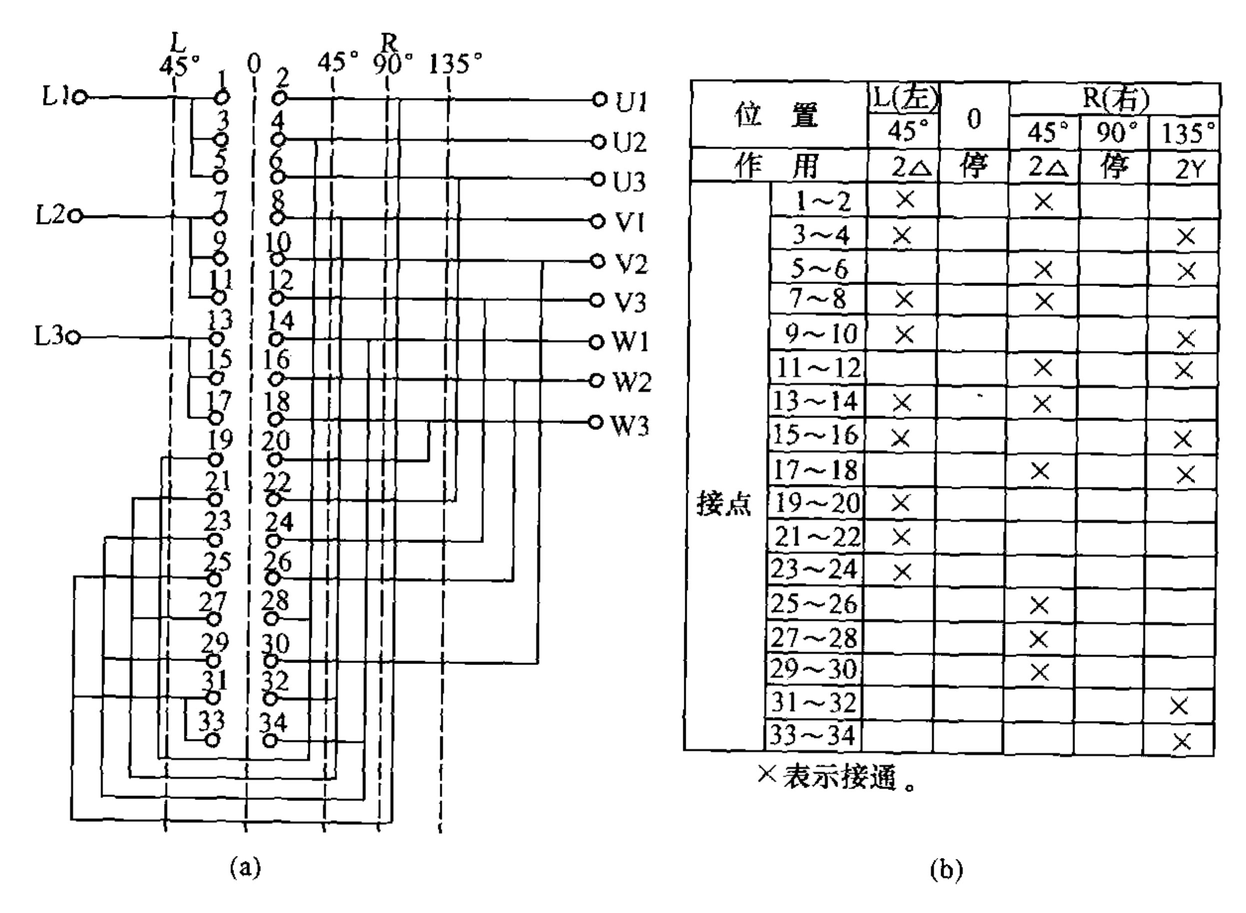


图 3-27　单绕组三速电动机 2△/2△/2Y 接法接线原理图

（a）绕组接线原理图；（b）引出线端接线示意图

例 3-28　单绕组三速电动机 2△/2△/2Y 接法开关控制线路

图 3-28 所示即为单绕组三速电动机 2△/2△/2Y 接法开关控制线路。其接线图见图 3-28（a），各位置接点的通断情况则如图 3-28（b）所示。



位置		L(左)	0	R(右)		
		45°		45°	90°	135°
作用		2△	停	2△	停	2Y
接点	1～2	×		×		
	3～4	×				×
	5～6			×		×
	7～8	×		×		
	9～10	×				×
	11～12			×		×
	13～14	×		×		
	15～16	×				×
	17～18			×		×
	19～20	×				
	21～22	×				
	23～24	×				
	25～26			×		
	27～28			×		
	29～30			×		
	31～32					×
	33～34					×

×表示接通。

图 3-28　单绕组三速电动机 2△/2△/2Y 接法开关控制线路

（a）LW5 万能转换开关接线图；（b）各位置通断情况

例 3-29　单绕组三速电动机 2△/2△/2Y 接法时间继电器控制线路

图 3-29 所示即为单绕组三速电动机 2△/2△/2Y 接法时间继电器控制线路。该线路中的电动机轴上安装有速度继电器 SR，同时还配置有时间继电器 KT1、KT2，它是一种具有自动加速的控制线路。此线路中的时间继电器 KT1、KT2 两只线圈的断电时间，不由接触器的常闭触点来控制，而分别取决于 KT2 和速度继电器 SR 常闭触点的打开与否。

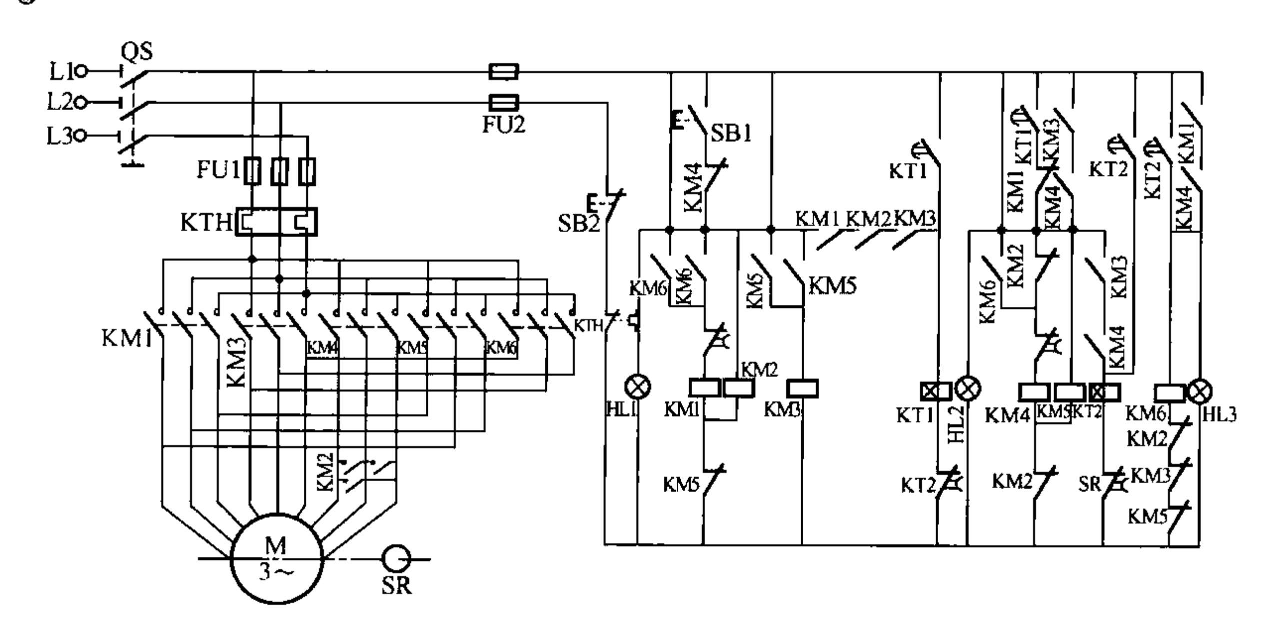


图 3-29 单绕组三速电动机 2△/2△/2Y 接法时间继电器控制线路

例 3-30 单绕组三速电动机 2△/2Y/2Y 接法接线原理图

图 3-30 所示即为单绕组三速电动机 2△/2Y/2Y 接法接线原理图。该线路在三种转速下分别按 2△、2Y、2Y 接法，它也可用开关和接触器两种方式控制。

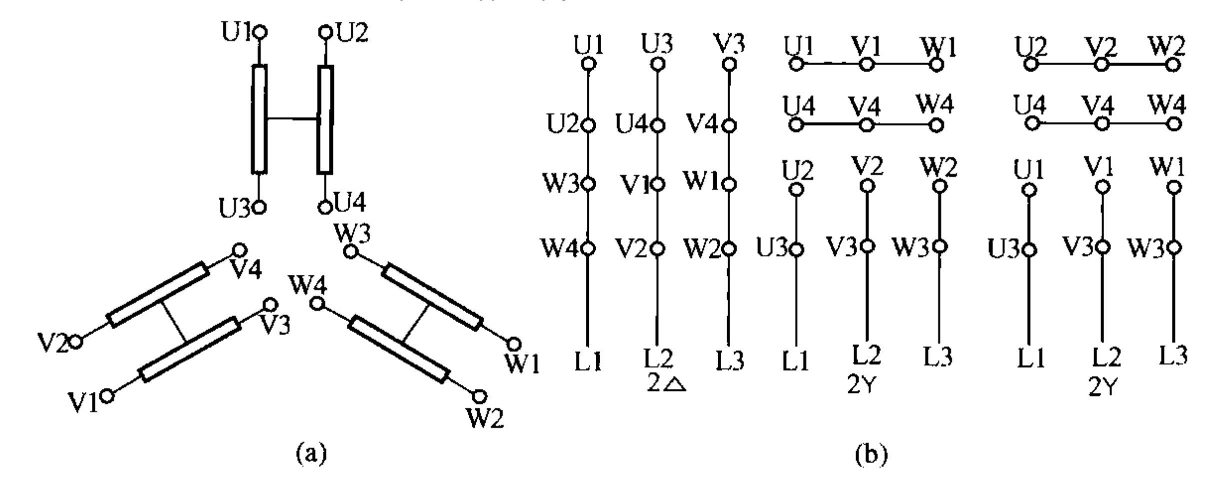
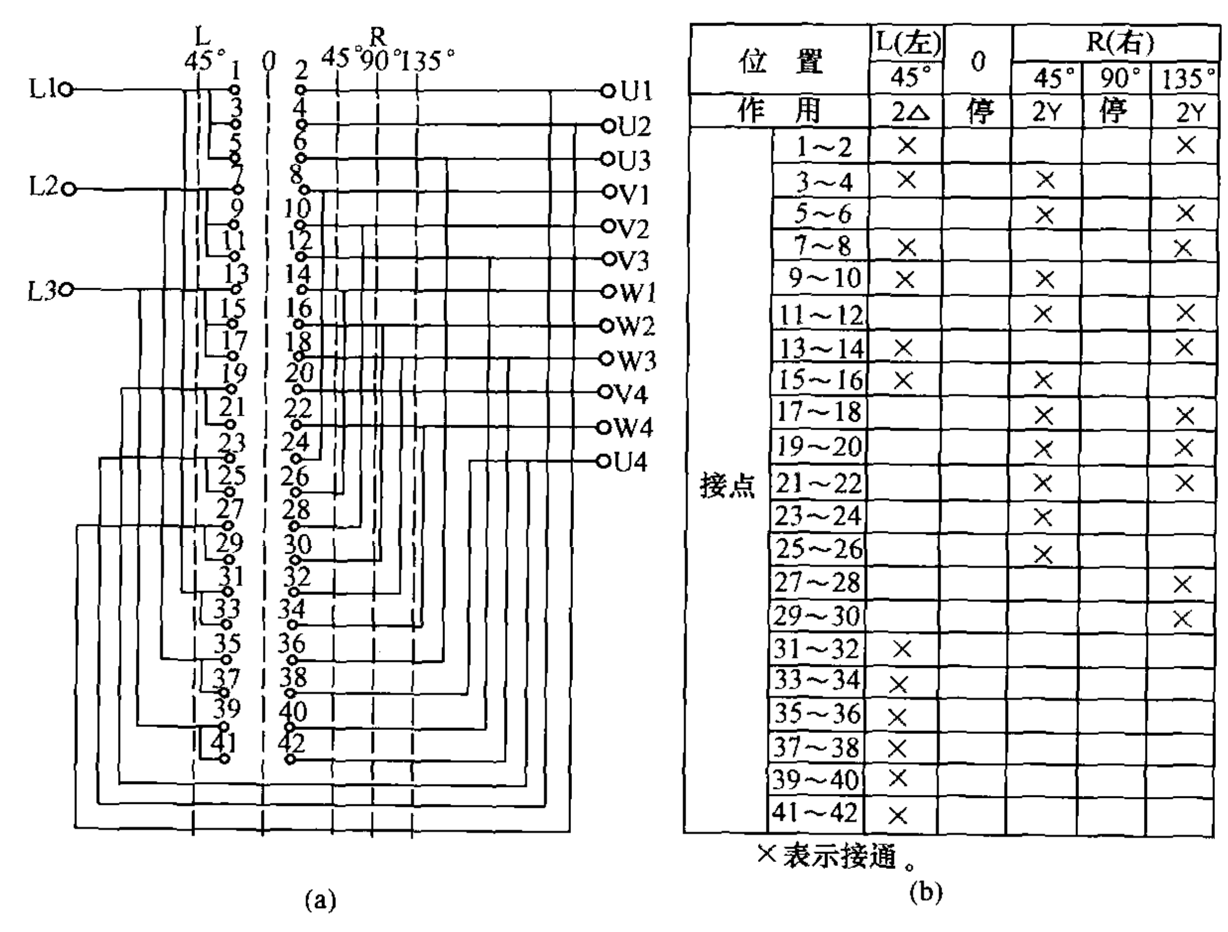


图 3-30 单绕组三速电动机 2△/2Y/2Y 接法接线原理图

（a）绕组接线原理图；（b）引出线端接线示意图

例 3-31 单绕组三速电动机 2△/2Y/2Y 接法开关控制线路

图 3-31 所示即为单绕组三速电动机 2△/2Y/2Y 接法开关控制线路。其接线图见图 3-31（a），各位置接点的通断情况如图 3-31（b）所示。



位　置	L(左) 45°	0	R(右) 45°	90°	135°
作　用	2△	停	2Y	停	2Y
接点 1～2	×				×
3～4	×		×		
5～6			×		×
7～8	×				×
9～10	×		×		
11～12			×		×
13～14	×				×
15～16	×		×		
17～18			×		×
19～20			×		×
21～22			×		×
23～24			×		
25～26			×		
27～28					×
29～30					×
31～32	×				
33～34	×				
35～36	×				
37～38	×				
39～40	×				
41～42	×				

×表示接通。

图 3-31　单绕组三速电动机 2△/2Y/2Y 接法开关控制线路

（a）LW5 万能转换开关接线图；（b）各位置通断情况

例 3-32　单绕组三速电动机△/△/3 Y 接法接线原理图

图 3-32 所示即为单线组三速电动机△/△/3Y 接法接线原理图。该线路在三种转速下分别接成△、△、3Y 接法，它也可采

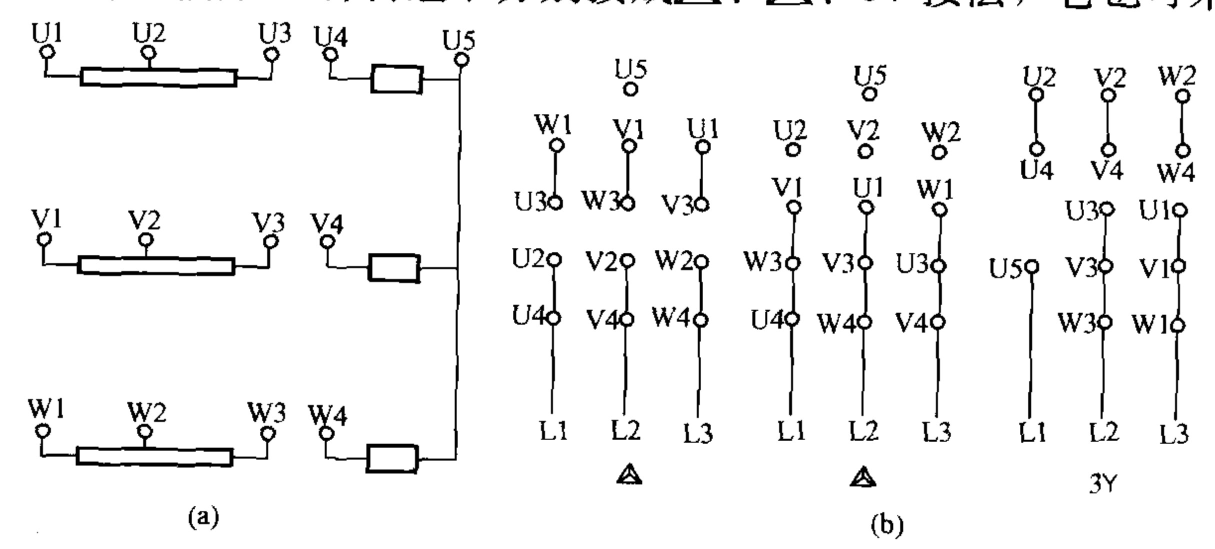


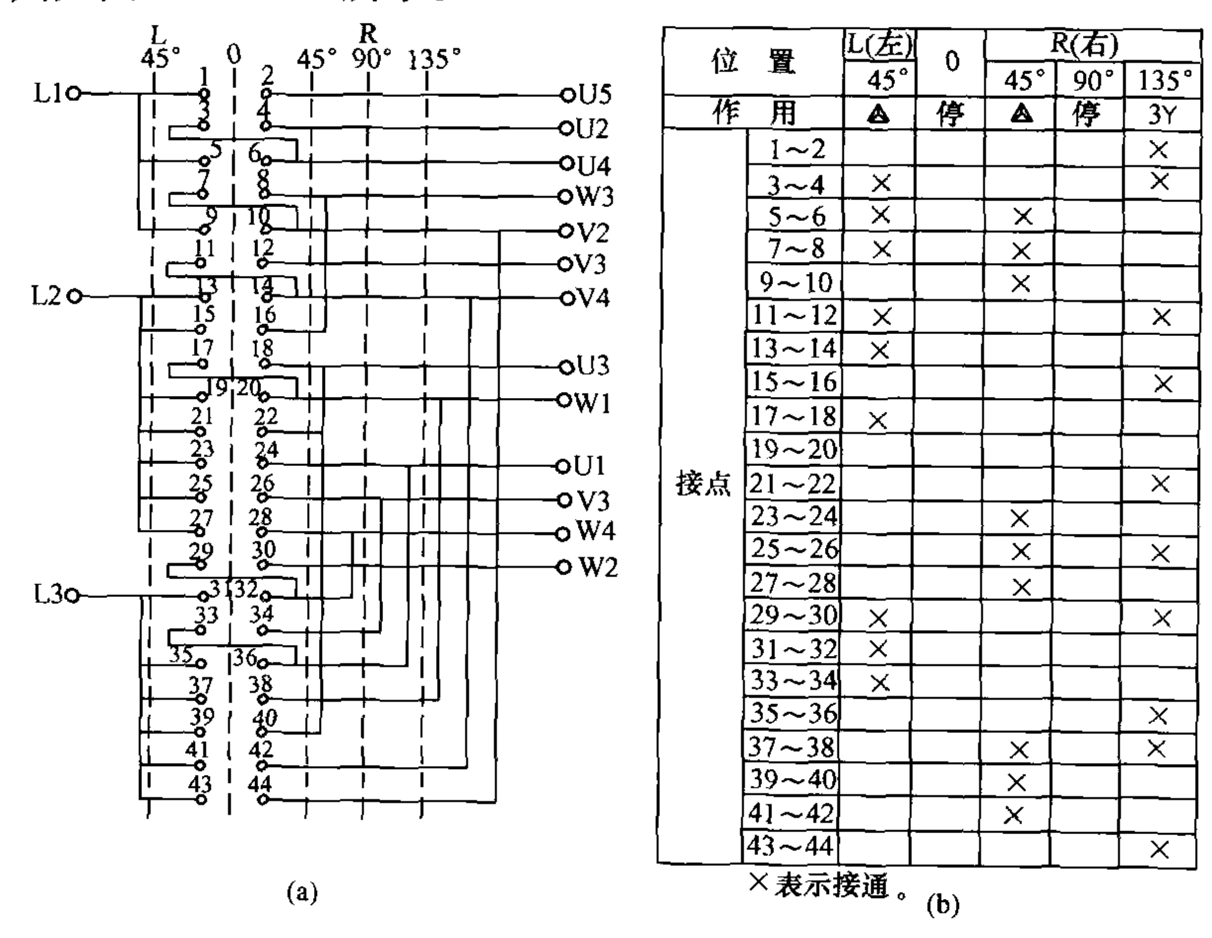
图 3-32　单绕组三速电动机△/△/3Y 接法接线原理图

（a）绕组接线原理图；（b）引出线端接线示意图

用开关和接触器两种方式控制。

例 3-33　单线组三速电动机△/△/3 Y 接法万能转换开关控制线路

图 3-33 所示即为单线组三速电动机△/△/3Y 接法万能转换开关控制线路。其接线图见图 3-33（a），各位置接点的通断情况则如图 3-33（b）所示。



位置		L(左) 45°	0	R(右) 45°	90°	135°
作用		△	停	△	停	3Y
接点	1～2					×
	3～4	×				×
	5～6	×		×		
	7～8	×		×		
	9～10			×		
	11～12	×				×
	13～14	×				
	15～16					×
	17～18	×				
	19～20					
	21～22					×
	23～24			×		
	25～26			×		×
	27～28			×		
	29～30	×				×
	31～32	×				
	33～34	×				
	35～36					×
	37～38			×		×
	39～40			×		
	41～42			×		
	43～44					×

×表示接通。

图 3-33　单绕组三速电动机△/△/3Y 接法万能转换开关控制线路
（a）LW5 万能转换开关接线图；（b）各位置通断情况

例 3-34　双绕组三速电动机△/Y /2 Y 接法时间继电器控制线路

图 3-34 所示即为双绕组三速电动机△/Y/2Y 接法时间继电器控制线路。该线路采用时间继电器进行控制，使电动机的转速从低速、中速、高速实现了自动变换。电动机停止时按下停止按钮 SB2 即可。

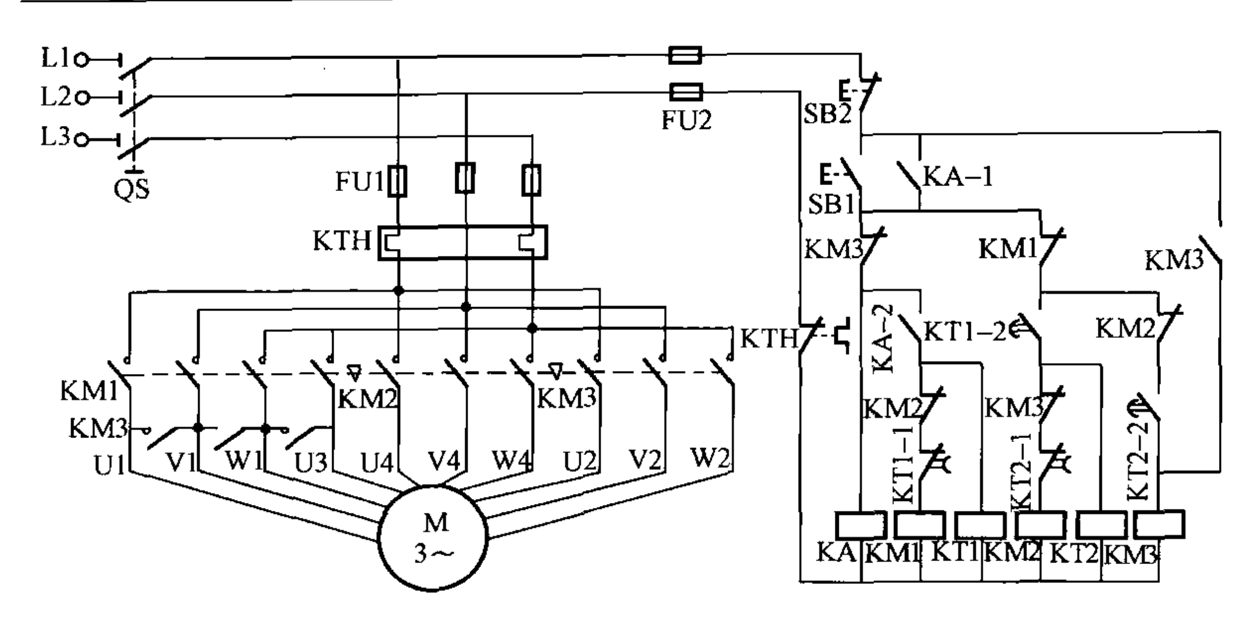


图 3-34　双绕组三速电动机△/Y/2Y 接法时间继电器控制线路

例 3-35　双绕组三速电动机Y /Y /2 Y 接法自动控制线路

图 3-35 所示即为双绕组三速电动机 Y/Y/2Y 接法自动控制线路。该线路采用时间继电器 KT 和中间继电器 KA 进行自动控制，使电动机的三种转速得以自动变换。

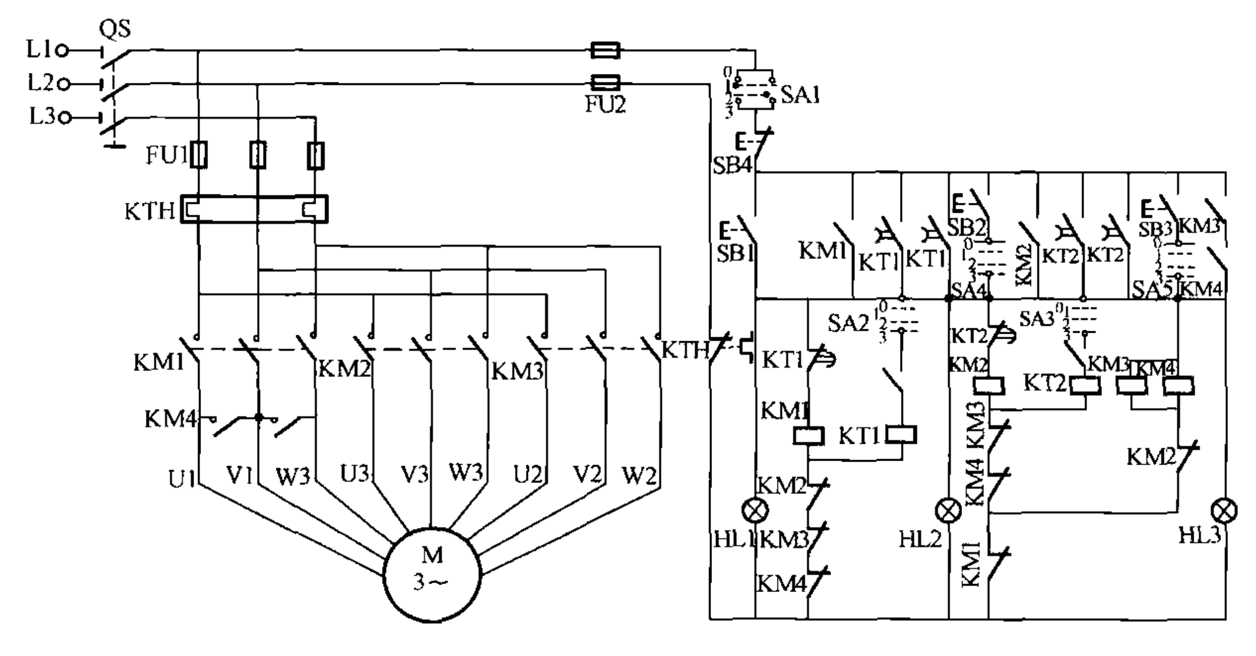


图 3-35　双绕组三速电动机 Y/Y/2Y 接法自动控制线路

例 3-36　双绕组四速电动机△/2 Y/△/2 Y 接法手动、自动控制线路

图 3-36 所示即为双绕组四速电动机△/2Y/△/2Y 接法手动、

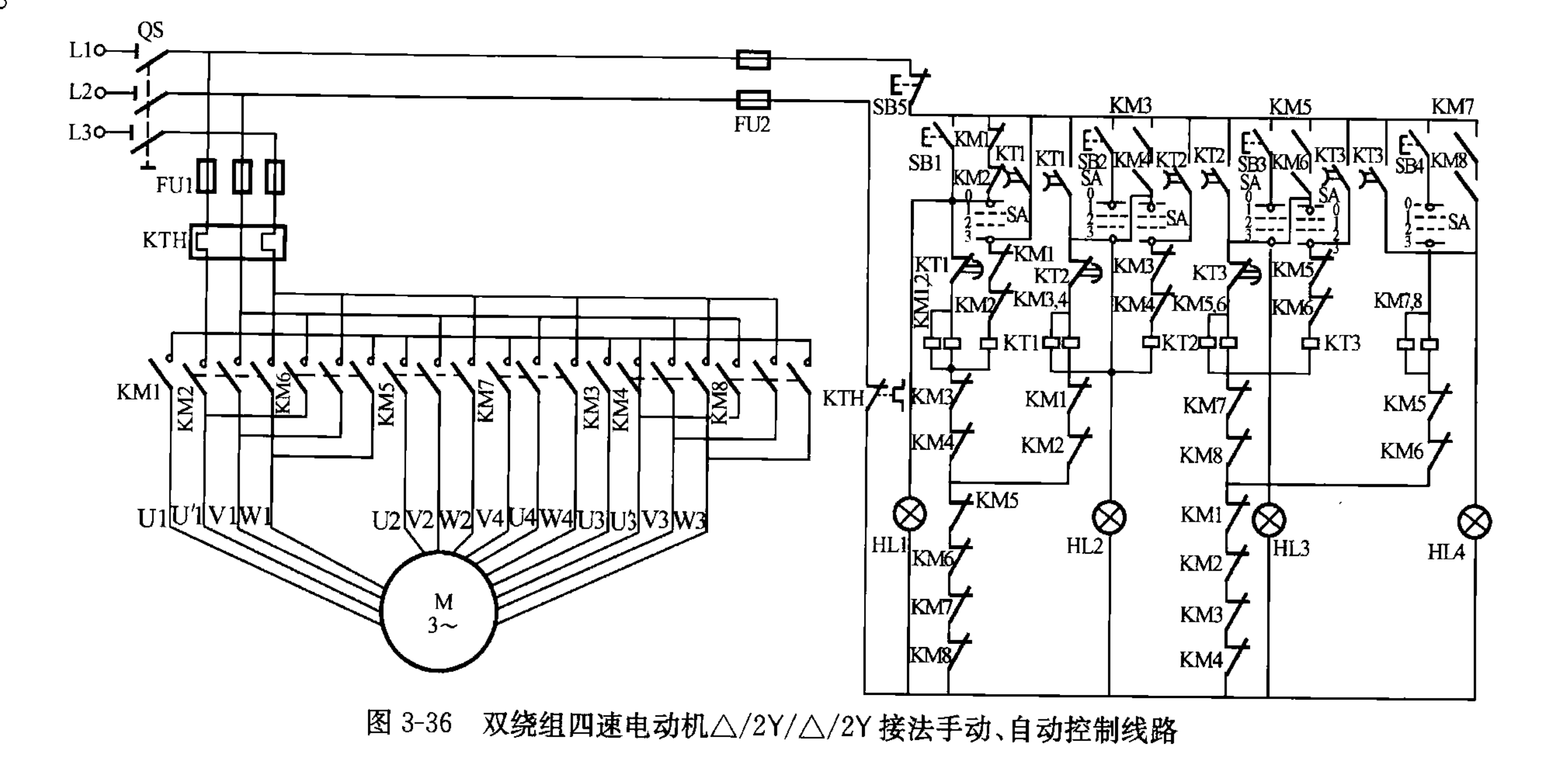


图 3-36　双绕组四速电动机△/2Y/△/2Y 接法手动、自动控制线路

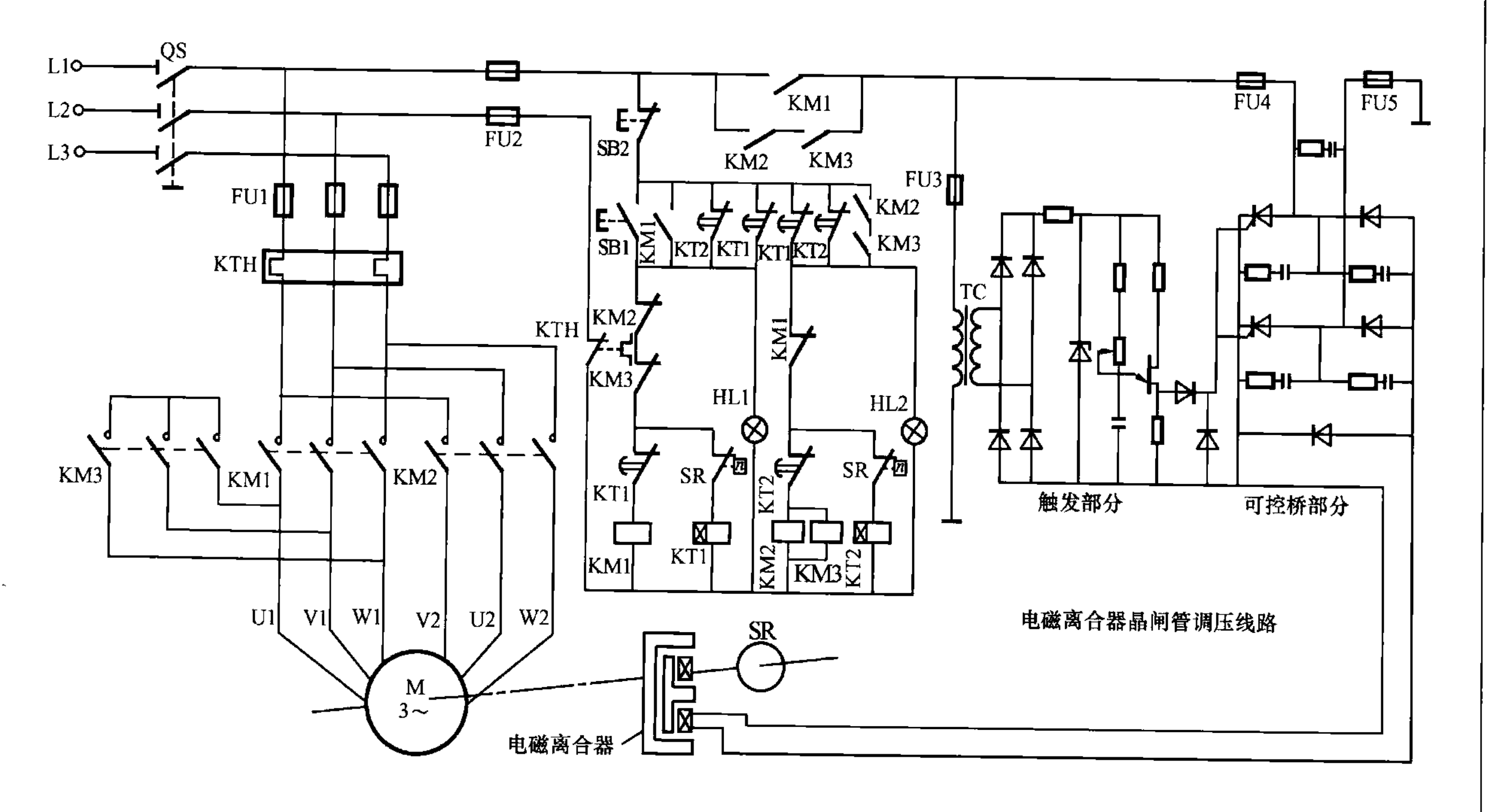


图 3-37　电磁调速异步电动机自动换极控制线路

自动控制线路。该线路采用组合开关 SA 进行手动与自动控制的变换。手动控制时，可根据电动机 4 种转速的选择，按下起动按钮 SB1～SB4 中相应的按钮即可。自动控制时，起用时间继电器进行控制。

第 2 节　三相电磁调速异步电动机控制线路

该电机是一种交流恒转矩无级调速电动机，它具有调速范围广、起动转矩大，频繁起动时对电网无冲击，以及有较硬的机械特性和较高的调速精度等优点。因而在纺织、化工、轻工、冶金等工业部门得到广泛应用。

例 3-37　电磁调速异步电动机自动换极控制线路

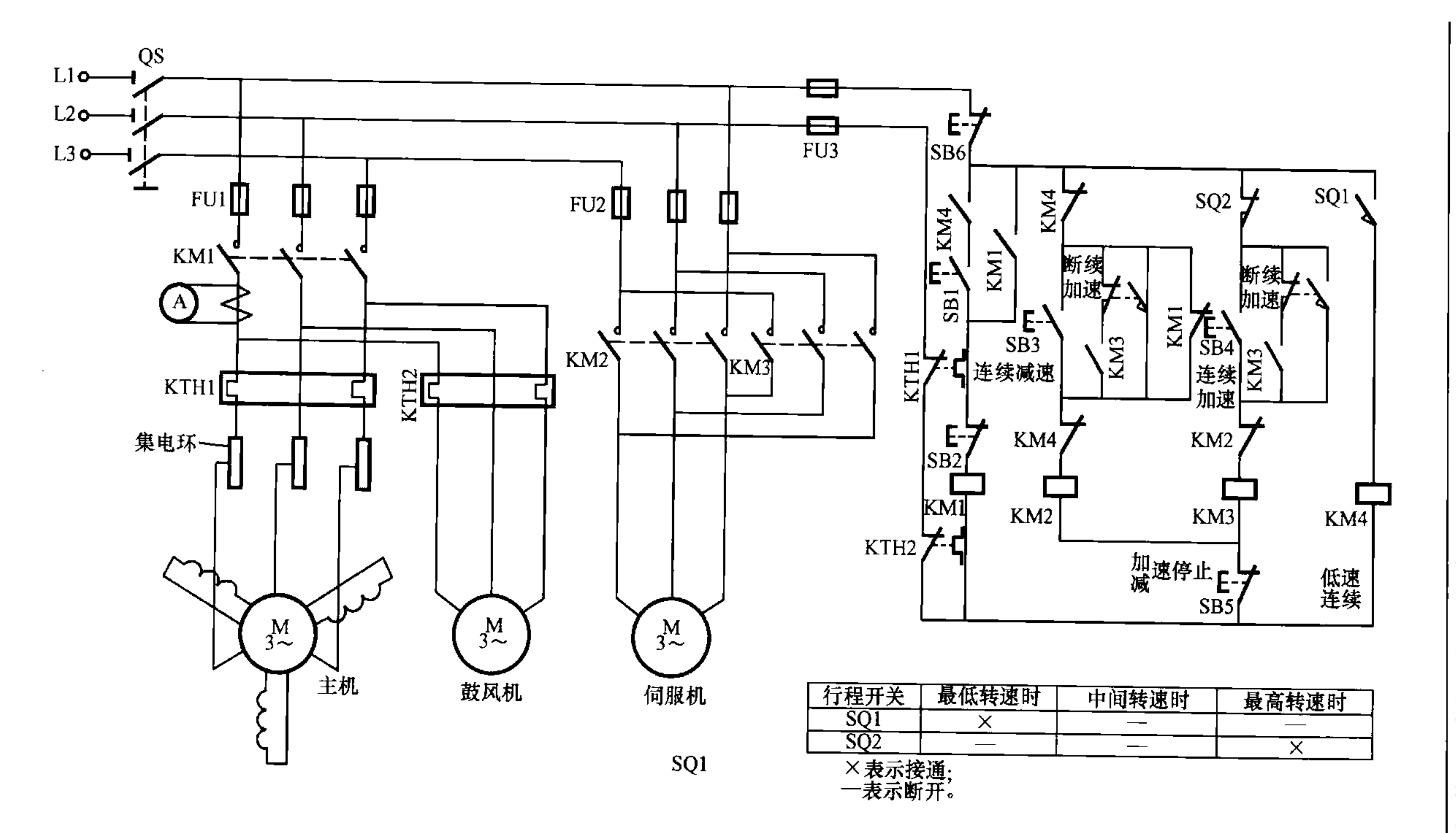
图 3-37 所示即为电磁调速异步电动机自动换极控制线路。该线路采用一台单绕组双速电动机来拖动电磁离合器，线路能够使电动机定子绕组自动变换极数，从而克服了电磁离合器低速运行时效率过低的缺点，并扩大了电动机的有效调速范围。

第 3 节　三相并励调速异步电动机控制线路

三相并励调速异步电动机亦称三相异步换向器电动机，它也是一种恒转矩调速电动机，具有调速范围广、能无级调速和功率因数较高等优点。因而被广泛用于纺织、印染、印刷、造纸、制糖等工业部门。

例 3-38　三相交流并励电动机带遥控装置控制线路

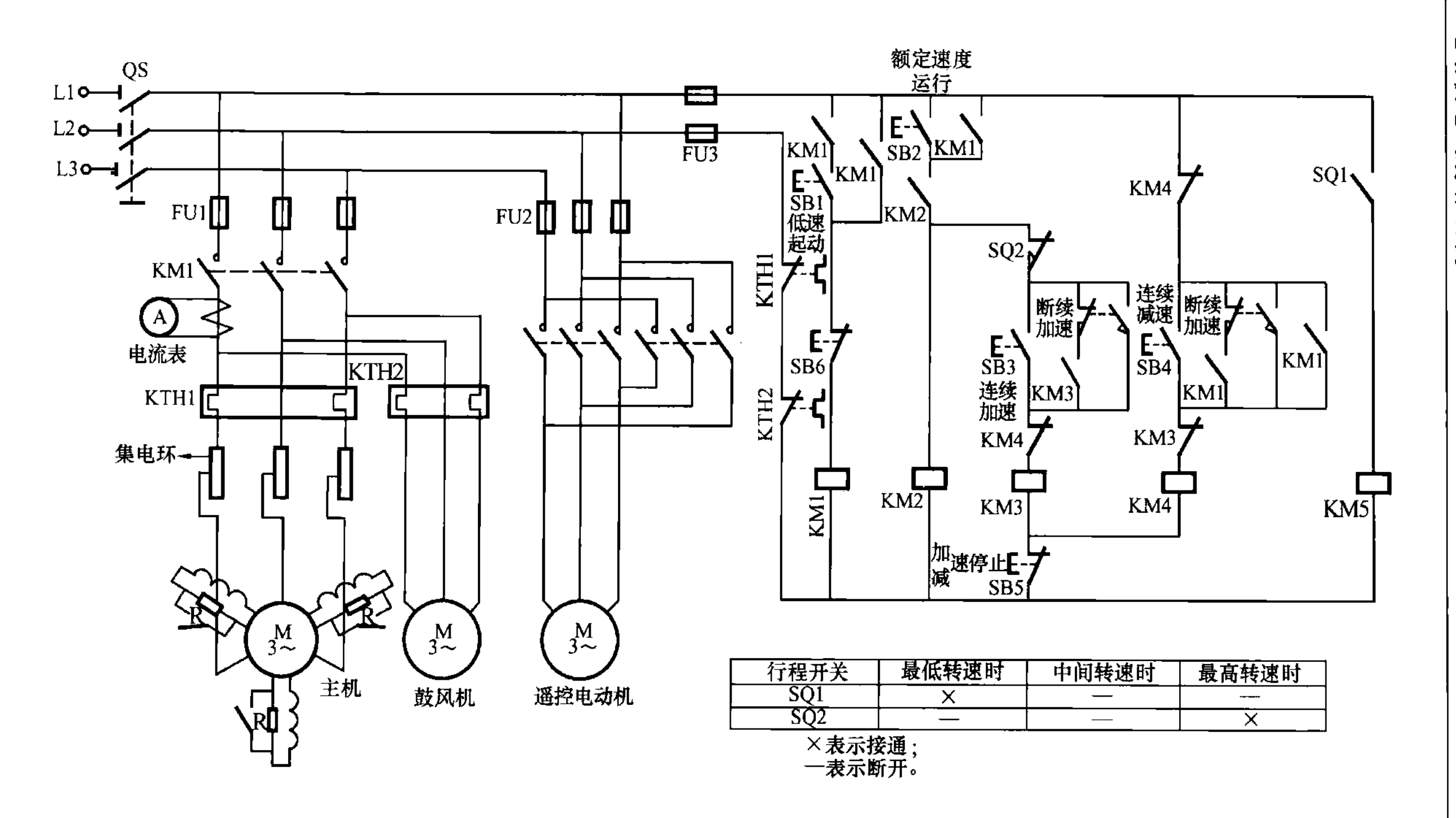
图 3-38 所示即为三相交流并励电动机带遥控装置控制线路。当电动机的主开关切断以后，它依靠在减速回路中的辅助触点接通遥控电动机，使换向器上的两块电刷转盘自动回到最低转速位置，以准备下一次低速起动。



行程开关	最低转速时	中间转速时	最高转速时
SQ1	×	—	—
SQ2	—	—	×

×表示接通；
—表示断开。

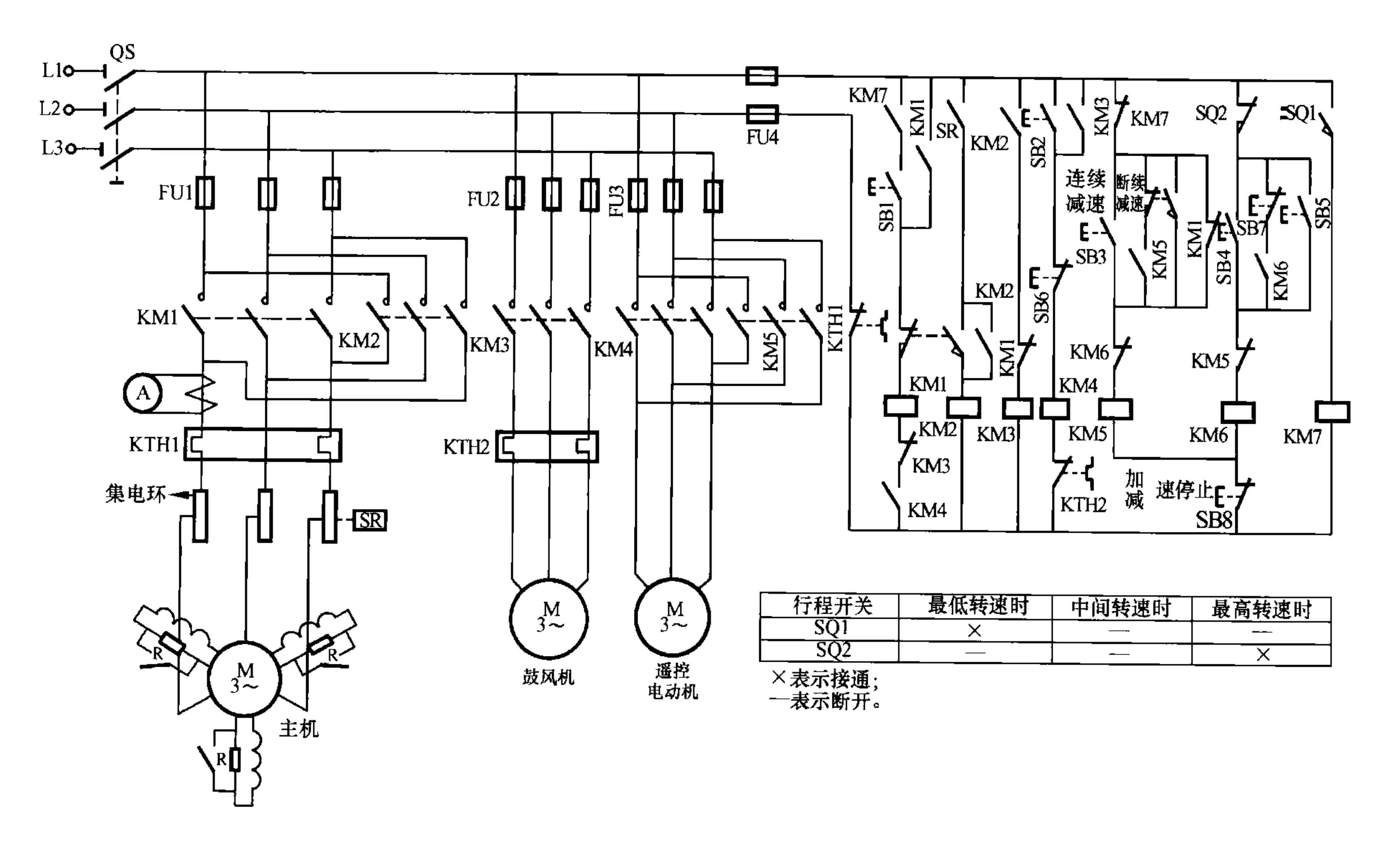
图 3-38　三相交流并励电动机带遥控装置控制线路



行程开关	最低转速时	中间转速时	最高转速时
SQ1	×	—	—
SQ2	—	—	×

×表示接通；
—表示断开。

图 3-39　三相交流并励电动机带速度继电器反接制动控制线路



行程开关	最低转速时	中间转速时	最高转速时
SQ1	×	—	—
SQ2	—	—	×

×表示接通；
—表示断开。

图 3-40　三相交流并励电动机带外加电阻调速的控制线路

例 3-39　三相交流并励电动机带速度继电器反接制动控制线路

图 3-39 所示即为三相交流并励电动机带速度继电器反接制动控制线路，该线路只适用于 15kW 以下的小容量电动机上。当交流并励电动机被反接制动时，为了防止次级回路内产生过大的冲击电流灼伤换向器，故在次级回路内必须插入适当的限流电阻予以保护。电动机正常运行时，则该限流电阻应予短接。

例 3-40　三相交流并励电动机带外加电阻调速的控制线路

图 3-40 所示即为三相并励电动机带外加电阻调速的控制线路，该线路采用外接电阻来降低并励调速电动机最低转速。电动机正常运转时，则外接电阻应予短接以减少电动机损耗。

第 4 节　三相串极调速异步电动机控制线路

绕线转子异步电动机在采取转子串电阻调速时，将会在电阻上消耗大量的能量。转速调得愈低则能量损耗就愈大，这是能耗调速方法的最大缺点。如果我们在进行电动机转速调控的同时，将这部分能量加以利用，那样就可以获得比较经济的运行。三相异步电动机串极调速控制线路是在其转子电路上加一套变流装置，这样就构成由绕线转子异步电动机和变流装置共同组成的串极调速系统。

例 3-41　绕线转子异步电动机晶闸管串极调速系统原理图

图 3-41 所示即为绕线转子异步电动机晶闸管串极调速系统原理图。串级调速是调节绕线转子电动机的转子电压以改变转差，从而达到调节转速的目的。图中电动机的转子电压经整流器 VC 变为直流，再由晶闸管逆变器 V 将直流逆变为交流电压，其功率经变压器 TU 反馈给交流电网。这时逆变器电压可视为加到电动机转子绕组的电势，从而实现了异步电动机的晶闸管串极调速。

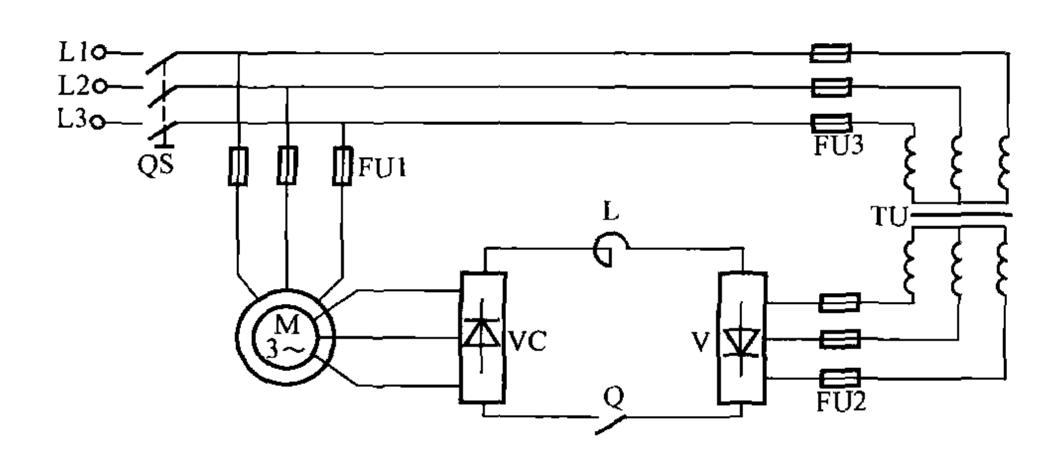


图 3-41　绕线转子异步电动机晶闸管串极调速系统原理图

第 5 节　三相变频调速异步电动机控制线路

变频调速是通过改变交流电动机定子绕组供电频率来改变同步转速实现调速的，在其调速过程中从高速到低速均可以保持有限的转差率，因而它具有效率高、精度高、调速范围宽等优良性能。可以说，变频调速是异步电动机比较合理和理想的调速方法。

近年来由于可控元件及变流技术的长足发展，用晶闸管、电力晶体管等变频装置构成的变频器对异步电动机进行调速已被广泛使用，下面将列举部分变频器调速电路。

例 3-42　具有比率设定箱的变频器调速电路

图 3-42 所示即为具有比率设定箱的变频器调速电路。该线

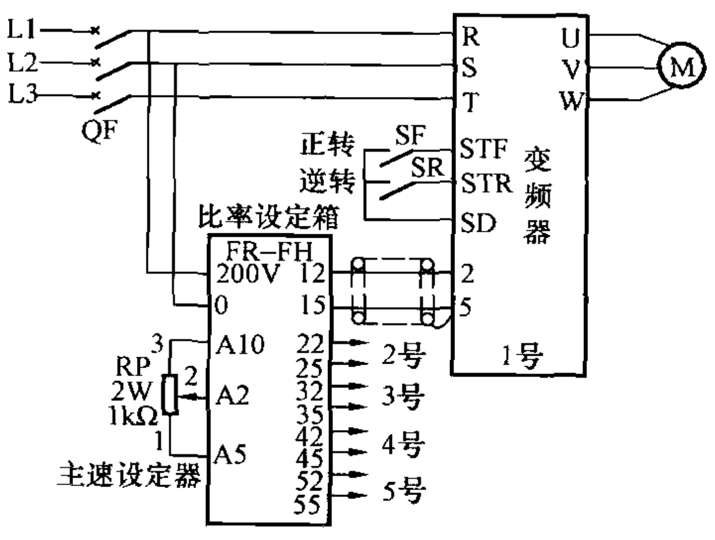


图3-42　具有比率设定箱的变频器调速电路

路中的 FR-FH 为比率设定箱，它可接 5 台变频器。当多台变频器输出需要与主控速度保持不同比率时，则可以通过比率设定箱 FR-FH 进行设定。本线路适用于生产流线物料输送中工段间有速度的要求，并且主速也要求可变的场所。

例 3-43　具有跟踪设定箱的变频器调速电路

图 3-43 所示即为具有跟踪设定箱的变频器调速电路。该线路中的 FR-FP 为跟踪设定箱，当一台电动机需要跟踪另一台电动机的转速控制时，可通过测速机并配上 FR-FP 来实现正、反转双向调速跟踪控制。

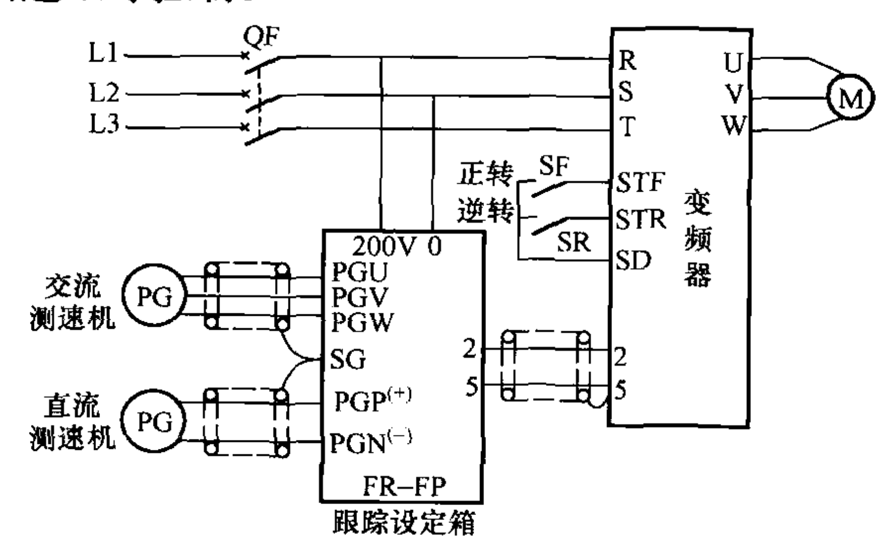


图 3-43　具有跟踪设定箱的变频器调速电路

例 3-44　具有遥控设定箱的变频器调速电路

图 3-44 所示即为具有遥控设定箱的变频器调速电路。该线

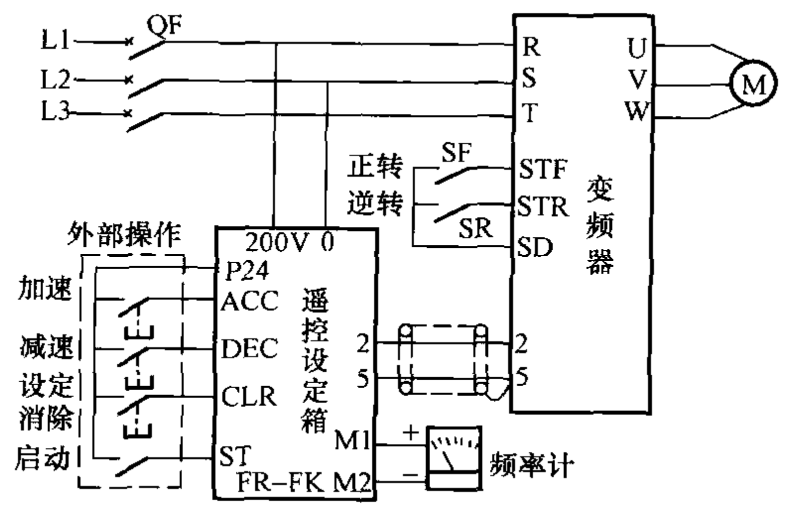


图 3-44　具有遥控设定箱的变频器调速电路

路中的FR-FK为遥控设定箱，当变频器不能就地操作或无法实现集中控制时，均可以采用本电路。

例3-45 具有联动设定箱的变频器调速电路

图3-45所示即为具有联动设定箱的变频器调速电路。该线路适应于利用外来运转信号对变频器进行的联动控制，如图中变频器从5、4脚引入一个4～20mA直流信号的运转信号，即可对电动机M进行转速控制。而4～20mA直流信号可来自许多自动化一次仪表，如速度传感器、力敏器件等。

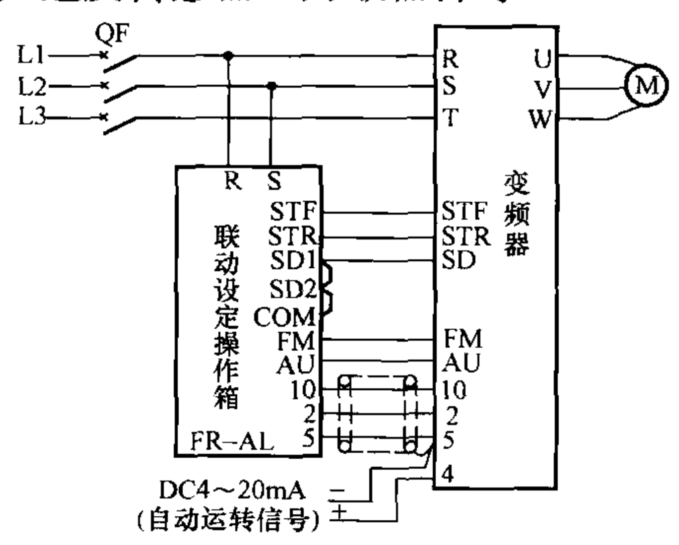


图3-45 具有联动设定箱的变频器调速电路

例3-46 带频率计操作箱的变频器调速电路

图3-46所示即为带频率计操作箱的变频器调速电路。该线

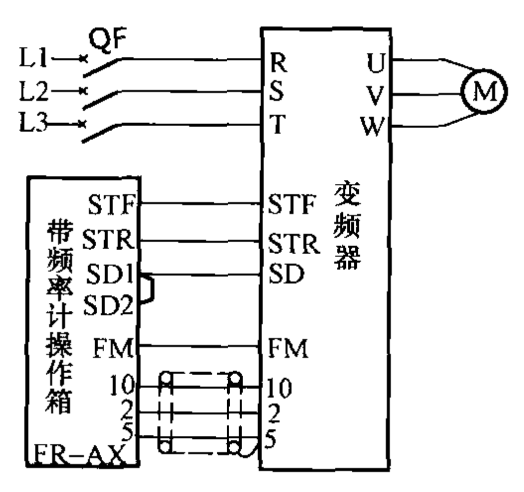


图3-46 带频率计操作箱的变频器调速电路

路中的 FR-AX 为频率计操作箱，利用此操作箱所带的频率计与频率设定电位器（未画出），对变频器进行手动、自动控制，并实现电动机正、反转的转速调节。

例 3-47 具有主速设定箱和联动设定操作箱的变频器调速电路

图 3-47 所示即为具有主速设定箱和联动设定箱的变频器调速电路。该线路中的 FR-FC 为主速设定箱，FR-AL 为联动设定操作箱。图中示出了可以接至多只 FR-AL 联动设定箱和多只变频器的 NFB，它能实现数台三相电动机同步运转，也可以同时加速、减速。其主设定则通过电位器 RP 调定。

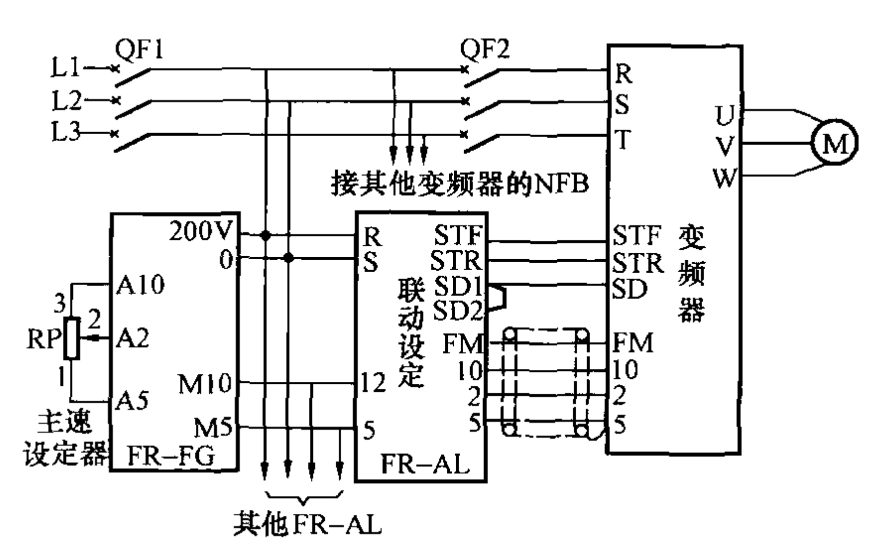


图 3-47 具有主速设定箱和联动设定操作箱的变频器调速电路

例 3-48 具有前置放大器箱的变频器调速电路

图 3-48 所示即为具有前置放大器箱的变频器调速电路。该线路中的 FR-FA 为前置放大器，它可以作为电流/电压信号变换或进行运算放大，即由联动设定操作箱 FR-AL 输出信号给变频器，再由变频器去控制电动机 M 作调速运行。

例 3-49 具有三速设定操作箱的变频器调速电路

图 3-49 所示即为具有三速设定操作箱的变频调速电路。该线路中的 FR-AT 为三速设定操作箱，当电动机 M 在运转过程中的某一时间段需要不同速度时，本线路即可提供三种转速的选

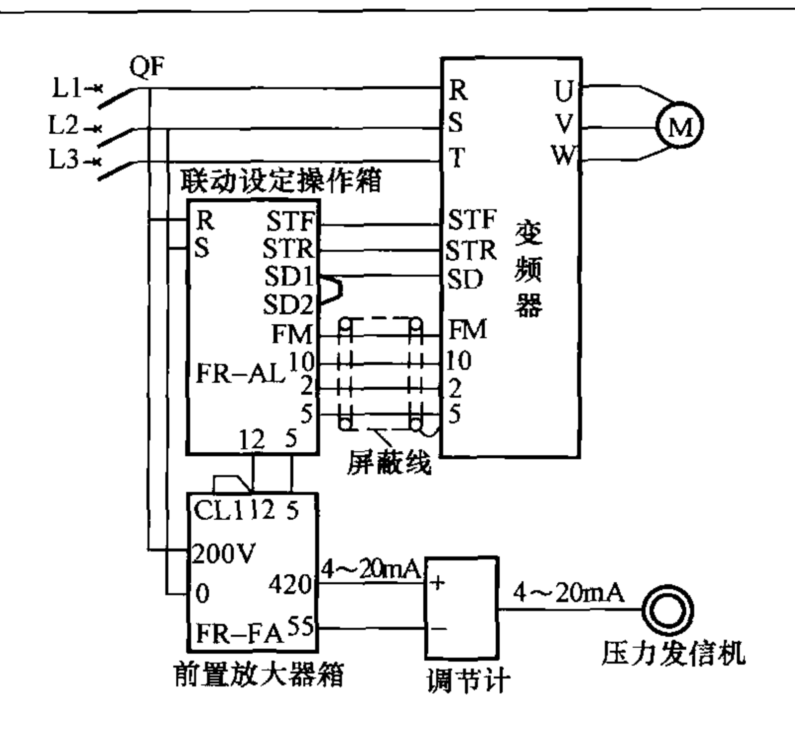


图 3-48 具有前置放大器箱的变频器调速电路

择，通过三只手动开关 S1、S2、S3 进行控制。

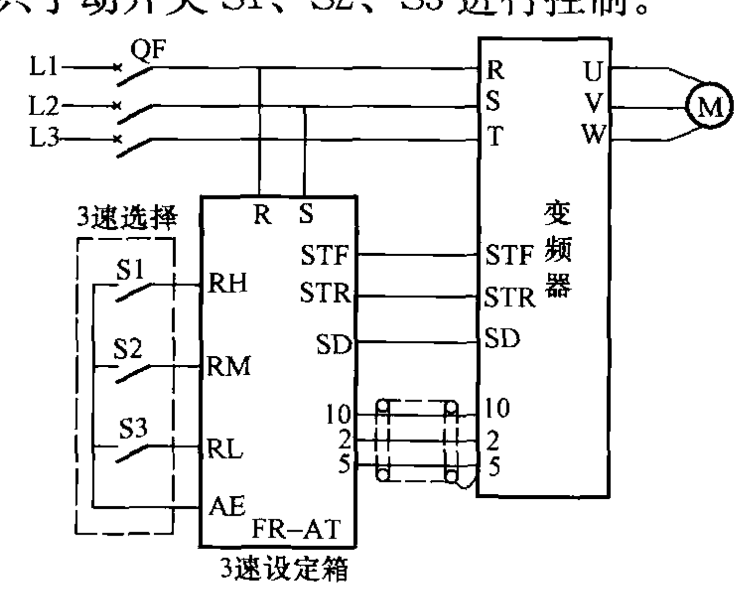
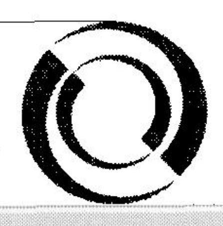


图 3-49 具有三速设定操作箱的变频器调速电路

第 4 章

单相异步电动机电气控制线路



Chapter 4

单相异步电动机具有结构简单、成本低廉、振动和噪音较小、只需单相交流电源供电等一系列优点，因而在工农业生产、科学技术研究、家用电器及小型电动工具中得到广泛应用，例如在电风扇、洗衣机、电冰箱、电锤、医疗器械等电器和设备中。

从电机学中我们知道单相异步电动机本身没有起动转矩，因而不能自行起动。为了产生起动转矩，单相异步电动机定子上必须安置两套绕组，即主绕组和辅助绕组，二者共同产生旋转磁场及其转矩，用以起动电动机。单相异步电动机根据其所采用起动方式的不同而分为多种类型，常见的型式有：电阻分相式、电容分相式电动机，以及罩极式、串励式电动机等。

由于单相异步电动机多样的类型，这就给它带来在绕组构成、绕组连接和外部控制线路接法的复杂变化。另外，小功率三相异步电动机在采用某些特殊接法后，也可以正常地运行在单相电源上。本章绘置有常用单相异步电动机及三相异步电动机单相运行的控制线路。

第 1 节　起动与运转控制线路

单向运转是单相异步电动机最基本和应用最多的电气控制线路，该控制线路通常由离心开关及各类起动继电器与单相异步电动机共同组成。下面所示即为单相电阻分相式、电容分相式、罩极式电动机的起动与运转控制线路。

例 4-1　单相电阻起动异步电动机电气控制线路

图 4-1 所示为单相电阻起动异步电动机电气控制线路。该线

路中的定子主、辅绕组轴线在空间相差 90°电气角度，利用两绕组电阻大小及电流相位差裂相产生旋转磁场，辅绕组多选用较细的导线以增大电阻来扩大相位差。

例 4-2　单相电容起动异步电动机电气控制线路

图 4-2 所示即为单相电容起动异步电动机电气控制线路。电容起动式电动机的结构与电阻起动式基本相同，但在其辅绕组中串入了一个适量的电容器 C，使辅绕组的电流超前电源电压而形成一个两相磁场。

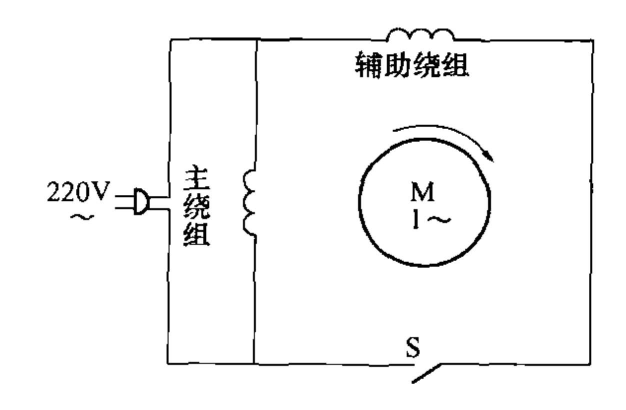


图 4-1　单相电阻起动异步电动机电气控制线路

图 4-2　单相电容起动异步电动机电气控制线路

例 4-3　单相电容运转异步电动机电气控制线路

图 4-3 所示即为单相电容运转异步电动机电气控制线路。该电动机无起动装置，电容器在起动与运转时均通电工作。因此要求电容器采用耐压值较高的纸介质或油浸纸介质的电容器，以能保证电动机安全、可靠地运行。

例 4-4　单相电容起动与运转电动机电气控制线路

图 4-4 所示即为单相电容起动与运转电动机电气控制线路。该电动机具有运转电容 C1 和起动电容 C2 两只电容器，起动时两只电容器均通电工作，起动过程结束后电容 C2 由起动开关 S 将其从电路切除，电容 C1 则仍留在线路运转。

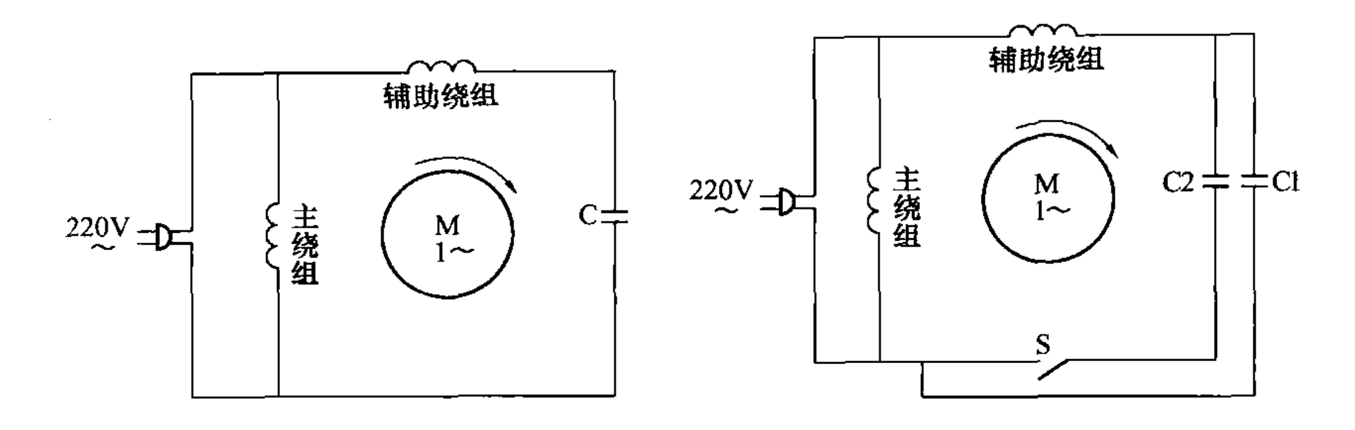


图 4-3　单相电容运转异步电动机电气控制线路

图 4-4　单相电容起动与运转电动机电气控制线路

例 4-5　单相罩极式异步电动机电气控制线路

图 4-5 所示即为单相罩极式异步电动机电气控制线路。该电动机是单相异步电动机中结构最简单的一种，它分为凸极式和隐极式两种形式。凸极式的定子绕组为集中式绕组，在其定子铁芯磁极上嵌放有短路罩极绕组，即如本图所示。

例 4-6　单相罩极分布绕组电动机电气控制线路

图 4-6 所示即为单相罩极分布绕组电动机电气控制线路。功率较大的罩极电动机常采用齿槽式定子铁芯，它上面除嵌放有分布式主绕组外，还嵌放有一套由单匝粗导线组成而自行短接并分布在定子槽内的罩极绕组。

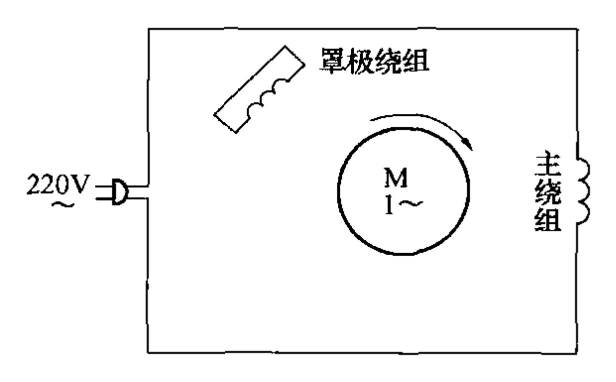


图 4-5　单相罩极式异步电动机电气控制线路

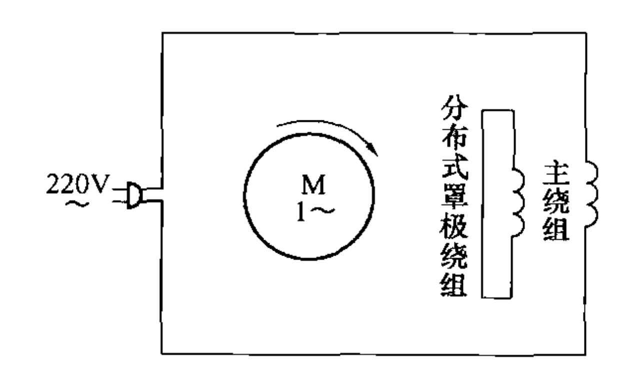


图 4-6　单相罩极分布绕组电动机电气控制线路

例 4-7　单相电阻起动电动机正、反转控制线路

图 4-7 所示即为单相电阻起动电动机正、反转控制线路。从单相异步电动机的工作原理可以知道，要改变电动机的旋转方向，只须将主绕组或辅绕组的接线端互换即可，本图就是采用这种方式。

例 4-8　单相电容起动电动机正、反转控制线路

图 4-8 所示即为单相电容起动电动机正、反转控制线路。从图中可以看出，当转换开关 QC 处在图中实线位置时，辅助绕组电流 i_A 超前于主绕组 i_C，这时电动机正向运转；若转动 QC 后即改变了电流方向，电动机即反向运转。

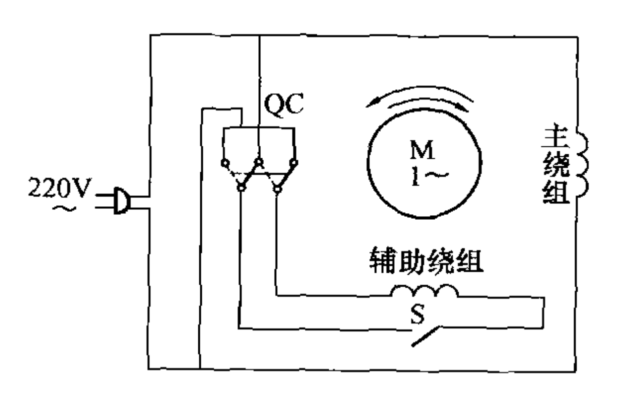


图 4-7　单相电阻起动电动机正、反转控制线路

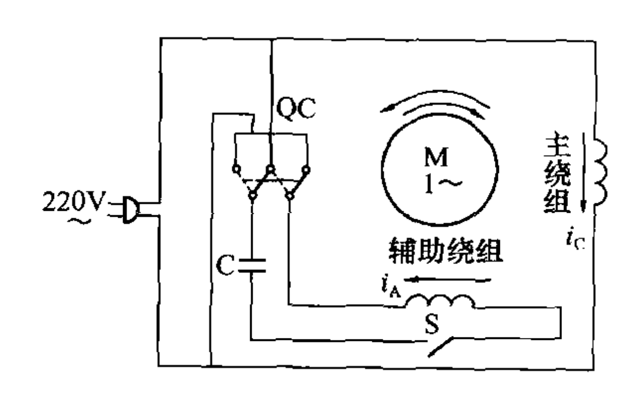


图 4-8　单相电容起动电动机正、反转控制线路

例 4-9　单相电容运转电动机正、反转控制线路

图 4-9 所示即为单相电容运转电动机正、反转控制线路。该线路中辅助绕组内串接的电容，在起动过程完成后仍留在线路上工作。当转换开关 QC 扳至实线位置时，电动机作正向运转；而处于虚线位置时，电动机则反向运转。

例 4-10　单相电容起动与运转电动机正、反转控制线路

图 4-10 所示即为单相电容起动与运转电动机正、反转控制线路。该线路中在电动机的主、辅绕组内串接有起动电容器 C1 和运转电容器 C2。电动机的起动过程完成后，电容器 C1

与辅助绕组一起退出运行，只留下电容器 C2 仍然参与电动机的运行。

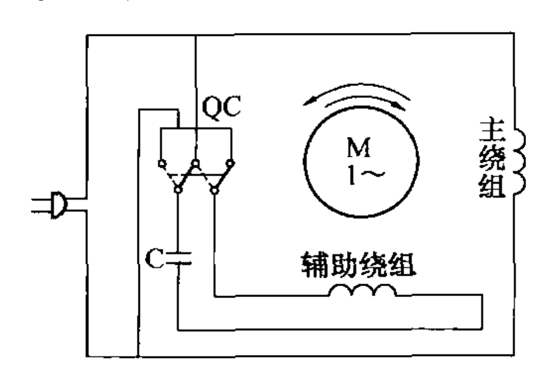


图4-9 单相电容运转电动机正、反转控制线路

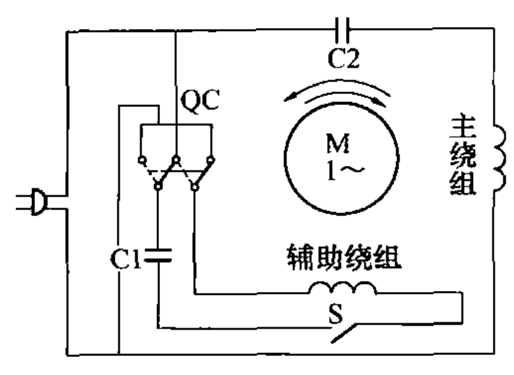


图 4-10 单相电容起动与运转电动机正、反转控制线路

例 4-11 单相罩极式电动机正、反转控制线路

图 4-11 所示即为单相罩极式电动机正、反转控制线路。该电动机采用两套分布式罩极绕组，一套作为正向起动及运行用，另一套则用于反向运转，正、反转的转换通过开关 S 来进行。分布式罩极绕组则嵌于定子铁芯槽中。

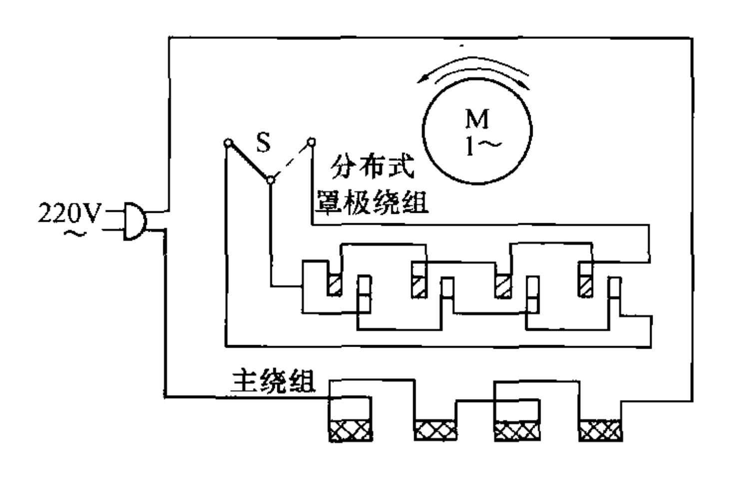


图 4-11 单相罩极式电动机正、反转控制线路

第 2 节 调速与制动控制线路

单相异步电动机常见调速方法主要有电抗器调速，自耦变压

器调速，主、辅绕组抽头调速，主、辅绕组改接法调速，晶闸管调速等多种类型及其快速制动等。

例 4-12　单相罩极式电动机电抗调速控制线路

图 4-12 所示即为单相罩极式电动机电抗调速控制线路。该线路是通过电抗器 L 的作用，使加于电动机上的电压降低及电流减小，从而让电动机转速减慢以达调速目的。经开关 S 的控制，该罩极电动机可获得 3 种不同转速。

例 4-13　单相罩极式电动机电抗调速带指示灯控制线路

图 4-13 所示即为单相罩极式电动机电抗调速带指示灯控制线路。该电动机为裂极短路线圈式罩极，经电抗器进行主绕组三级降压调速，调节开关 S 即可得到高、中、低三档转速，同时还带有指示灯 HL。

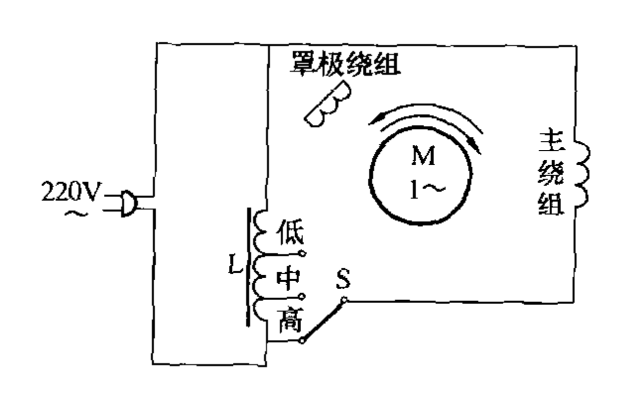


图 4-12　单相罩极式电动机电抗调速控制线路

图 4-13　单相罩极式电动机电抗调速带指示灯控制线路

例 4-14　单相电容运转电动机主绕组降压调速控制线路

图 4-14 所示即为单相电容运转电动机主绕组降压调速控制线路。该线路为电动机主绕组经自耦变压器 TA 降压进行三级调速，在调速过程中辅助绕组电压保持不变，而只对主绕组进行三级降压调速。

例 4-15　单相电容电动机主、辅绕组异电压调速控制线路

图 4-15 所示即为单相电容电动机主、辅绕组异电压调速控

制线路。该线路采用自耦变压器的调压特性来直接降低主、辅绕组的电压，使其均能对电动机进行调速。本图中调速前后主绕组电压变化比例较辅绕组要大，也即调速范围相对要大些。

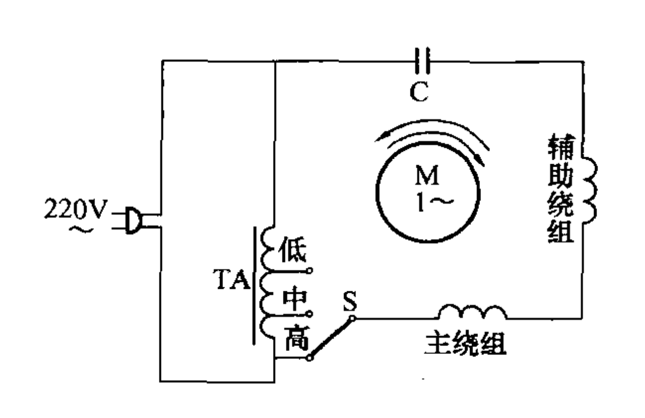


图 4-14　单相电容运转电动机主绕组降压调速控制线路

图 4-15　单相电容电动机主、辅绕组异电压调速控制线路

例 4-16　单相电容电动机主、辅绕组同电压调速控制线路

图 4-16 所示即为单相电容电动机主、辅绕组同电压调速控制线路。该线路中主、辅绕组是并接在一起后，再经自耦变压器降压调速的，因而电动机不论在哪一档转速下，其主、辅绕组的电压均是相等的。

例 4-17　单相电容电动机电抗调速带指示灯控制线路

图 4-17 所示即为单相电容电动机电抗调速带指示灯控制线

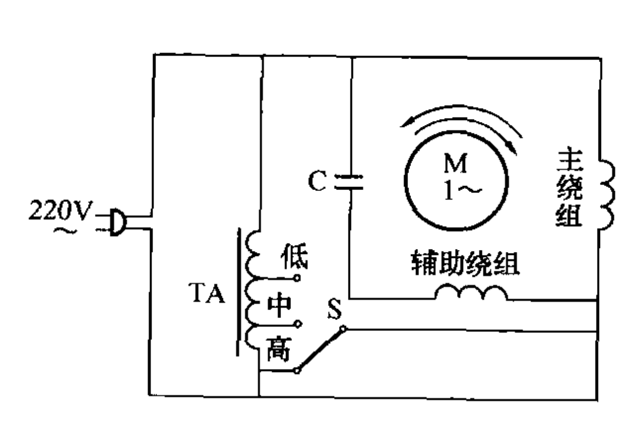


图 4-16　单相电容电动机主、辅绕组同电压调速控制线路

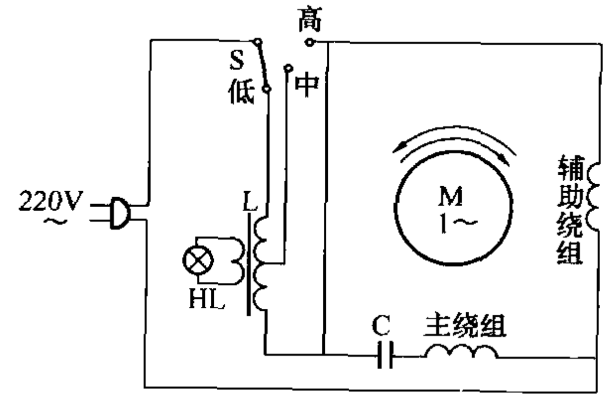


图 4-17　单相电容电动机电抗调速带指示灯控制线路

路。该线路是将起降压作用的电抗器串接在电动机内，用改变电抗器的线圈抽头来进行调速。线路还配置有指示灯，通过开关 S 的换档作速度变换。

例 4-18　单相异步电动机变极调速控制线路

图 4-18 所示即为单相异步电动机变极调速控制线路。从电机学中我们知道，采用庶极接法的绕组比显极接法时的极对数要多一倍，因此在一套绕组应用显、庶极两种接法的变换，就可以得到两种不同的转速。

例 4-19　单相电容电动机辅助绕组抽头调速控制线路

图 4-19 所示即为单相电容电动机辅助绕组抽头调速控制线路。该线路具有电动机绕组结构简单的优点。它采用以定子辅助绕组上面直接抽头来进行调速，因而无须其他附加措施，通过开关 S 调速即可。

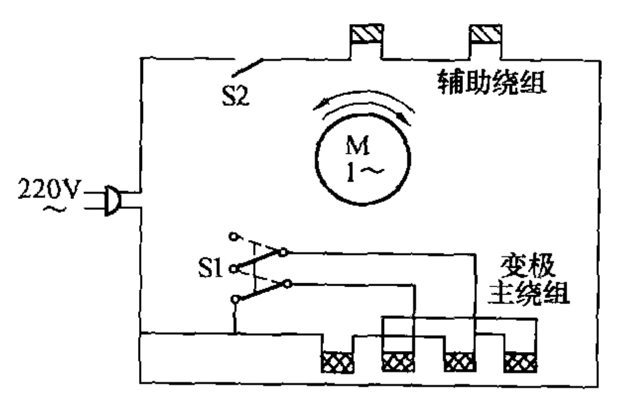


图 4-18　单相异步电动机变极调速控制线路

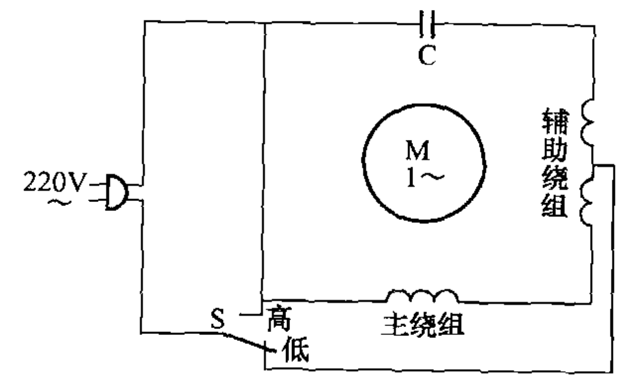


图 4-19　单相电容电动机辅助绕组抽头调速控制线路

例 4-20　单相电容电动机 L-1 型抽头调速两速控制线路

图 4-20 所示即为单相电容电动机 L-1 型抽头调速两速控制线路。该电动机的定子绕组上增加了一套调速绕组，它与主绕组串连后直接接于电源上，主、调绕组嵌置在同一槽中，故两绕组在空间上是同相位的，其运行性能较好。

例 4-21　单相电容电动机 L-1 型抽头调速三速控制线路

图 4-21 所示即为单相电容电动机 L-1 型抽头调速三速控制线路。当调速开关 S 转至 1 号位置时，电动机即高速运行；调速开关 S 转至 2 号位置时，电动机则作中速运转；调速开关 S 转至 3 号位置时，调速绕组串入主绕组故转速最低。

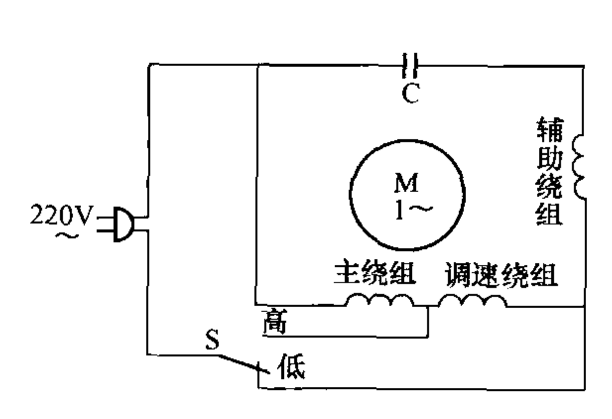


图 4-20　单相电容电动机 L-1 型抽头调速两速控制线路

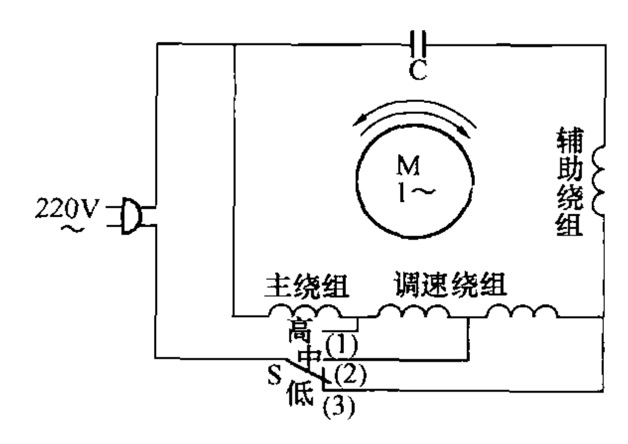


图 4-21　单相电容电动机 L-1 型抽头调速三速控制线路

例 4-22　单相电容电动机 L-2 型抽头调速两速控制线路

图 4-22 所示即为单相电容电动机 L-2 型抽头调速两速控制线路。该种线路中，调速绕组与辅助绕组同槽布置，故它们在空间上同相位。其线径一般均与辅助绕组相同。采用该种接法的电动机具有用铜较省的优点，但其低速时效率却比较低。

例 4-23　单相电容电动机 L-2 型抽头调速三速控制线路

图 4-23 所示即为单相电容电动机 L-2 型抽头调速三速控制线路。当调速开关 S 处于高速档时，调速绕组全部串接于辅助绕组中，主绕组则直接承受电源电压，磁场基本为圆形故运行性能较好。但中、低速时则性能较差。

例 4-24　单相电容电动机 T 型抽头调速控制线路

图 4-24 单相电容电动机 T 型抽头调速控制线路。该线路为调速绕组串接在主、辅绕组并联的外面，对主、辅绕组同时进行调压。这种调速方法主要靠降低磁场强度来进行，故电动机性能

好、电能利用合理。

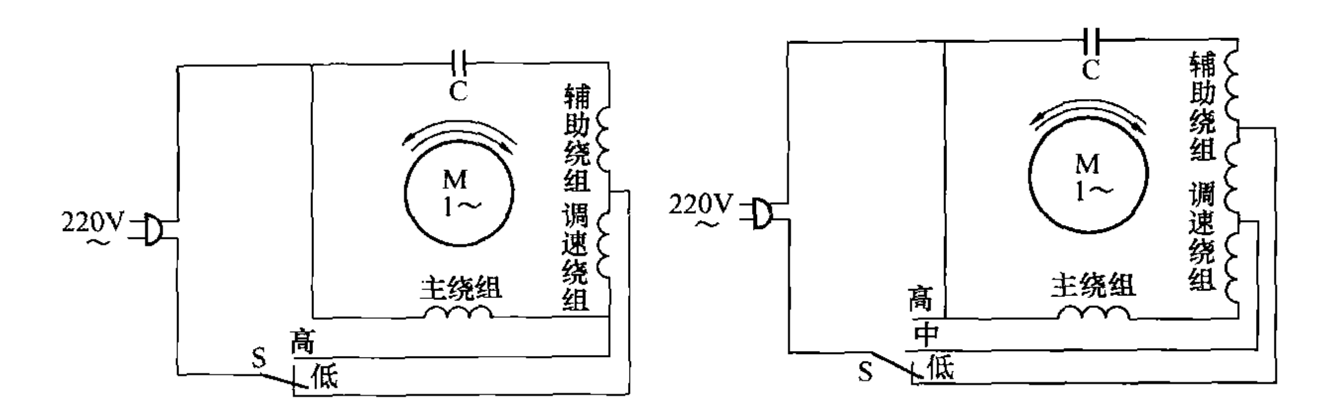


图 4-22　单相电容电动机 L-2 型抽头调速两速控制线路

图 4-23　单相电容电动机 L-2 型抽头调速三速控制线路

例 4-25　单相电容电动机 H 型绕组抽头调速控制线路

图 4-25 所示即为单相电容电动机 H 型绕组抽头调速控制线路。这种接法是在将调速绕组与辅助绕组串接后，再并接在主绕组和电源之间，当改变调速绕组的位置时也就改变了磁场强度，从而实现电动机的调速。

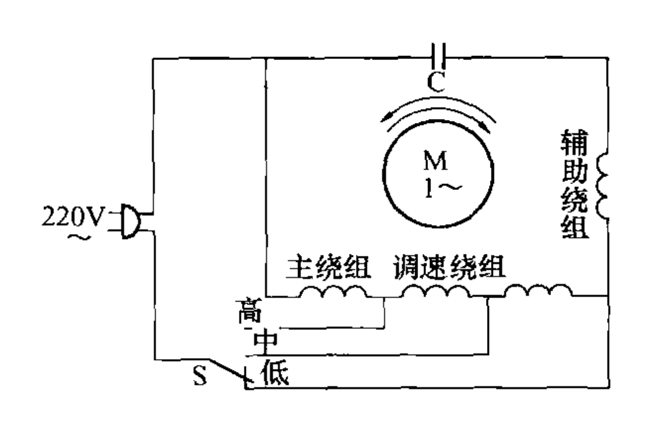


图 4-24　单相电容电动机 T 型抽头调速控制线路

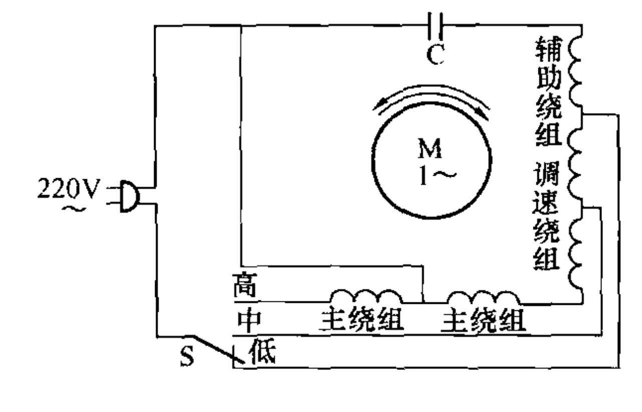


图 4-25　单相电容电动机 H 型绕组抽头调速控制线路

例 4-26　单相电容电动机绕组串、并联接法调速控制线路

图 4-26 所示即为单相电容电动机绕组串、并联接法控制线路。该线路调速范围广，低速起动转矩大，电动机效率较高，并且还省去了一只电抗器，是新近出现的一种较好接法。若将其用

在电风扇上就成为平时所称的节能风扇。

例 4-27　单相电容电动机双主绕组调速控制线路

图 4-27 所示即为单相电容电动机双主绕组调速控制线路。这种接法是利用在定子槽中嵌置的双主绕组进行调速，它可获得任何极比的双种转速。但该种电动机的体积大、成本高、效率低，目前已较少使用。

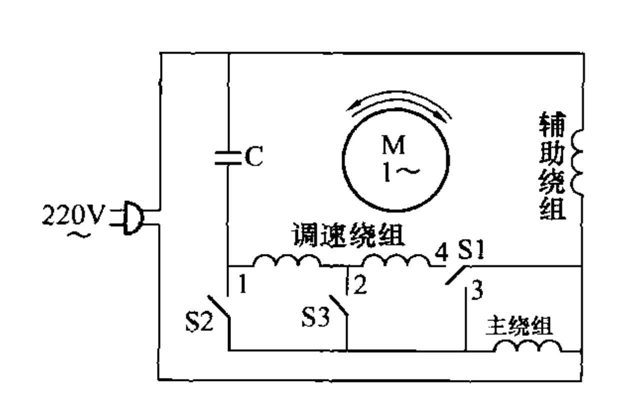


图 4-26　单相电容电动机绕组串、并联接法调速控制线路

图 4-27　单相电容电动机双主绕组调速控制线路

例 4-28　电容器串、并联调速三速接法控制线路

图 4-28 所示即为电容器串、并联调速三速接法控制线路。该线路在高速时和一般接法相同。调速时则可将主、辅绕组串联，以达到降压的作用。如将电容器并联在辅助绕组两端，即可得到不同转速。

例 4-29　单相电容电动机电容调速两速控制线路

图 4-29 所示即为单相电容电动机电容调速两速控制线路。该线路除辅助绕组中长期串连了一只运行电容器 C1 外，另外还增加了一只调速电容器 C2，通过调速开关 S 可对电动机作两级调速。

例 4-30　单相电容电动机电容调速三速控制线路

图 4-30 所示即为单相电容电动机电容调速三速控制线路。该线路在电动机辅助绕组中串接有一个运行电容器 C1，同时还

在电源端串接了开关 S 和电容器 C2、C3，当开关 S 分别接通 1、2、3 档时即可分级调速。

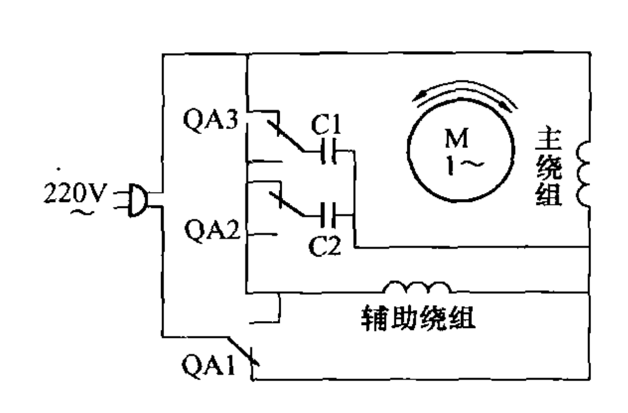


图 4-28　电容器串、并联调速三速接法控制线路

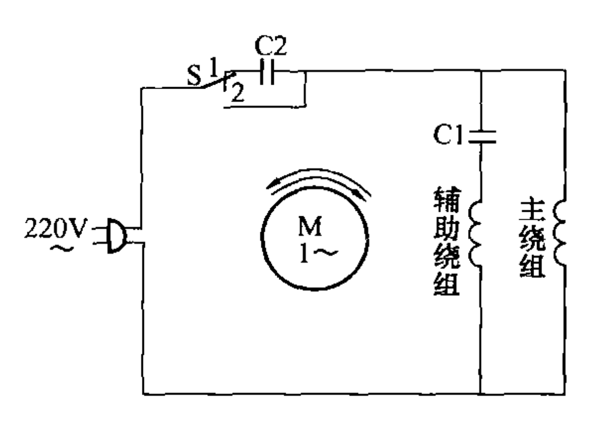


图 4-29　单相电容电动机电容调速两速控制线路

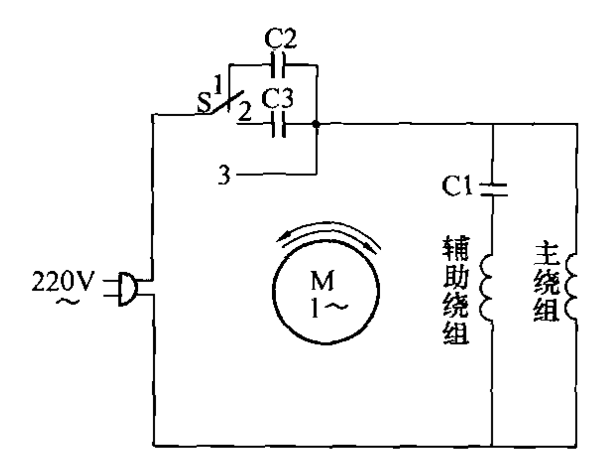


图 4-30　单相电容电动机电容调速三速控制线路

例 4-31　单相电容电动机晶闸管电子调速控制线路

图 4-31 所示即为单相电容电动机晶闸管电子调速控制线路。

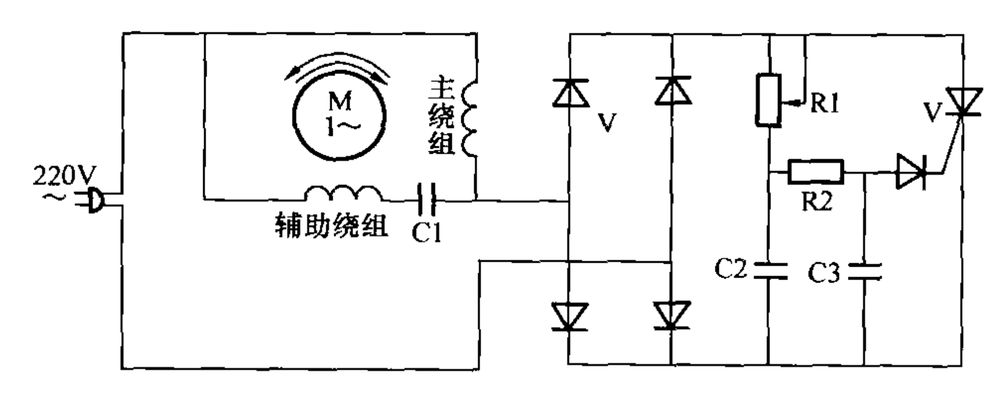


图 4-31　单相电容电动机晶闸管电子调速控制线路

晶闸管电子调速线路很多，本图则为比较简单而又经济的一种，它属于电压调速型控制线路。从图中可以看出，通过调节移相元件 R1 来调节晶闸管 V 的导通角进行调压。当移相电阻 R1 的阻值小时，V 的导通角大，此时的线路电流大而电动机转速高，若 R1 的阻值大时则结果相反。

例 4-32　单相电动机辅助绕组串外接电阻调速线路

图 4-32 所示即为单相电动机辅助绕组串外接电阻调速线路。该线路在辅助绕组中串接了一个外接电阻 R，当这外接电阻 R 的值增大或减小时，电动机主、辅绕组电流的相位差也相应增大或减小，从而达到调速。

例 4-33　单相电容电动机快速制动控制线路

图 4-33 所示即为单相电容电动机快速制动控制线路。该线路设置有一个专用制动控制线路，它经整流元件 V 将交流电变为直流电后送入电动机绕组，以实现快速制动。

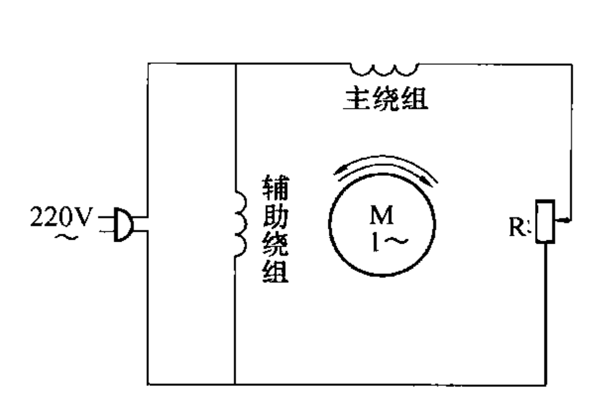


图 4-32　单相电动机辅助绕组串外接电阻调速线路

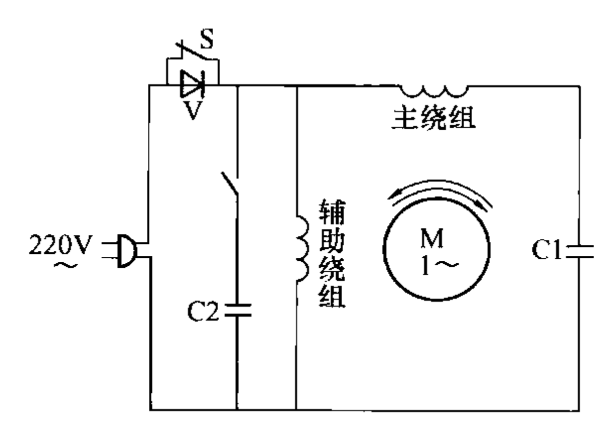


图 4-33　单相电容电动机快速制动控制线路

第 3 节　三相异步电动机单相运行控制线路

三相异步电动机在某些特殊情况下，经改接后也可以像单相异步电动机那样运行于单相电源上。这时原三相绕组中的一相绕组串接起电容器而作为起动用辅助绕组；另两相绕组则串接起来

作为工作的主绕组。采用这种接法后，单相运行时电动机的功率约为三相时功率的 20%左右。

例 4-34 三相异步电动机电阻移相起动“Y”形接法单相运行控制线路

图 4-34 所示即为三相异步电动机电阻移相起动“Y”形接法单相运行控制线路。该线路中，将三相异步电动机经起动电阻 R、离心开关或起动继电器组成可以在单相电源上运行的单相异步电动机。

例 4-35 三相异步电动机电阻移相起动“△”形接法单相运行控制线路

图 4-35 所示即为三相异步电动机电阻移相起动“△”形接法单相运行控制线路。图中三相异步电动机经起动电阻 R、离心开关或起动继电器,可结成“△”形接法而成功地运行在单相电源上

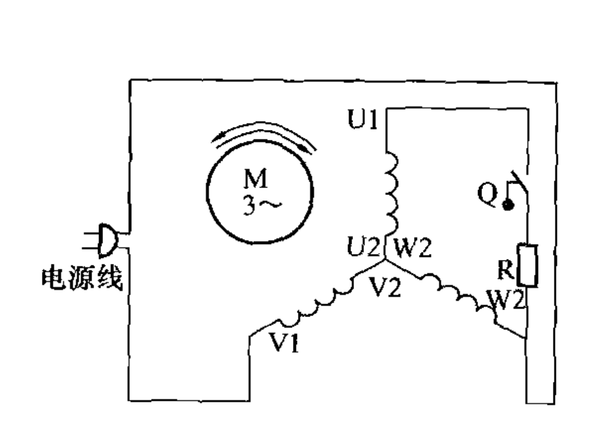


图 4-34 三相异步电动机电阻移相起动“Y”形接法单相运行控制线路

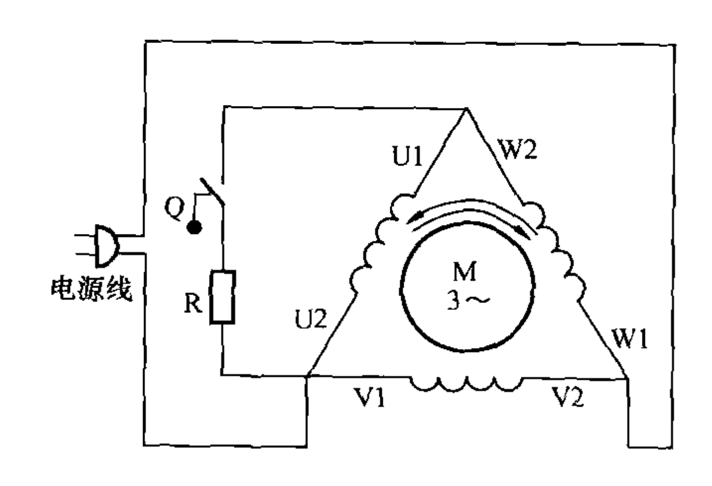


图 4-35 三相异步电动机电阻移相起动“△”形接法单相运行控制线路

例 4-36 三相异步电动机电容移相起动“Y”形接法单相运行控制线路

图 4-36 所示即为三相异步电动机电容移相起动“Y”形接法单向运行控制线路。该线路中将三相异步电动机经电容器 C、离心开关或起动继电器组成可在单相电源上运行的单相电动机

系统。

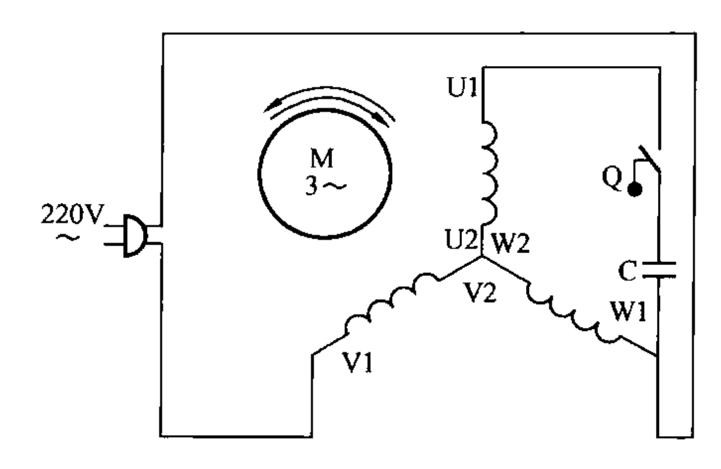


图 4-36　三相异步电动机电容移相起动“Y”形接法单相运行控制线路

例 4-37　三相异步电动机电容移相起动“△”形接法单相运行控制线路

图 4-37 所示即为三相异步电动机电容移相起动“△”形接法单相运行控制线路。该线路将三相异步电动机接成“△”形接法，经起动电容器 C 和离心开关 Q 而运行于单相电源上。

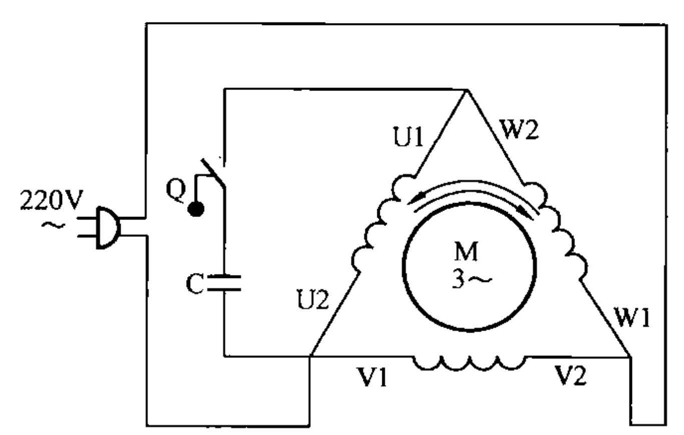


图 4-37　三相异步电动机电容移相起动“△”形接法单相运行控制线路

例 4-38　三相异步电动机电容移相运转“Y”形接法单相运行控制线路

图 4-38 所示为三相异步电动机电容移相运转“Y”形接法单相运行控制线路。该线路将三相异步电动机接成“Y”形，经电

容器 C 使其运行于单相电源上。

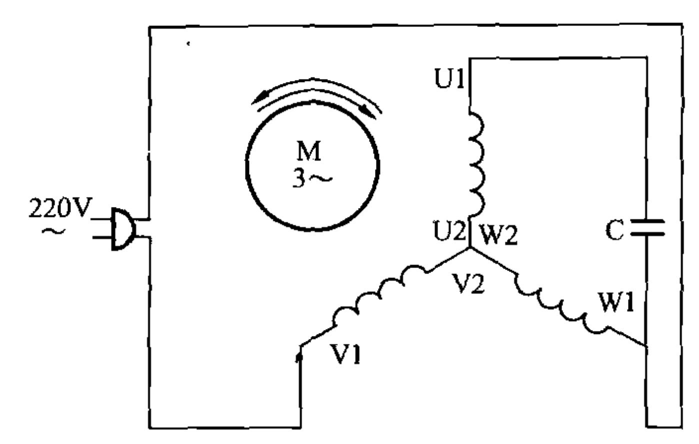


图 4-38　三相异步电动机电容移相运转“Y”形接法单相运行控制线路

例 4-39　三相异步电动机电容移相运转“△”形接法单相运行控制线路

图 4-39 所示即为三相异步电动机电容移相运转“△”形接法单相运行控制线路。该线路将三相异步电动机接成“△”形，经电容器 C 移相后运行于单相电源上。

例 4-40　三相异步电动机电容移相起动、运转“Y”形接法单相运行控制线路

图 4-40 所示即为三相异步电动机电容移相起动、运转“Y”

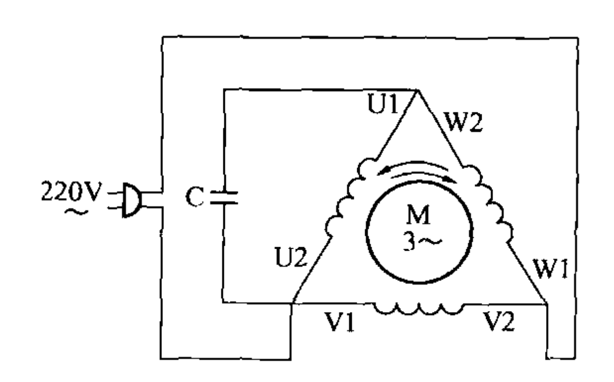


图 4-39　三相异步电动机电容移相运转“△”形接法单相运行控制线路

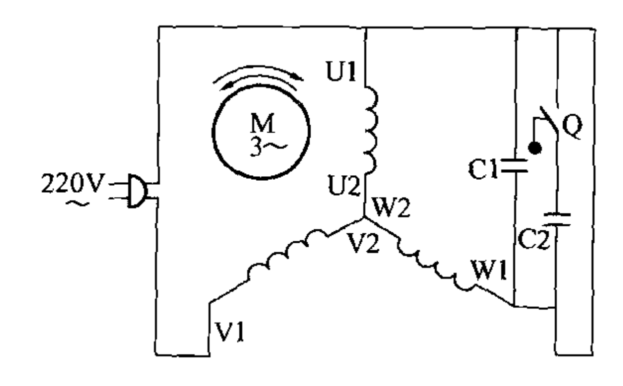


图 4-40　三相异步电动机电容移相起动、运转“Y”形接法单相运行控制线路

形接法单相运行控制线路。该线路配置有运行电容器 C1 和起动电容器 C2，使电动机正常地运行在单相电源上。

例 4-41　三相异步电动机电容移相起动、运转“△”形接法单相运行控制线路

图 4-41 所示即为三相异步电动机电容移相起动、运转“△”形接法单相运行控制线路。该线路将电动机三相绕组接成“△”形，经电容器 C1、C2 移相后应用于单相电源上。

例 4-42　拉开“Y”形电阻移相起动控制线路

图 4-42 所示即为拉开“Y”形电阻移相起动控制线路。该线路中的三相异步电动机具有 6 根出线端，图中 V、W 两相绕组串连构成主绕组，U 相则与起动电阻 R 串连成辅助绕组，将其改接后在单相电源上正常运行。

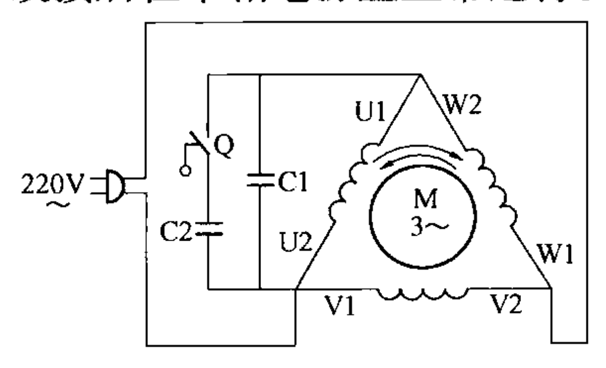


图 4-41　三相异步电动机电容移相起动、运转“△”形接法单相运行控制线路

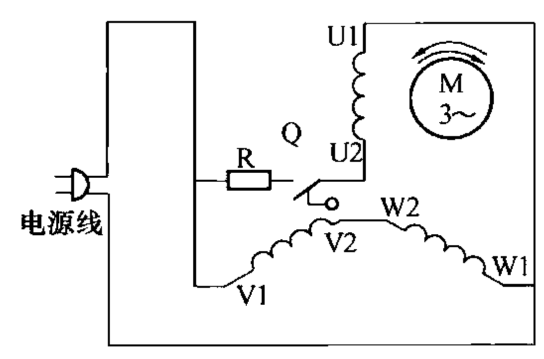


图 4-42　拉开“Y”形电阻移相起动控制线路

例 4-43　拉开“△”形电阻移相起动控制线路

图 4-43 所示即为拉开“△”形电阻移相起动控制线路。该线路中三相异步电动机绕组的 V、W 两相绕组构成为主绕组，U 相则成为辅助绕组。当起动过程结束，则离心开关 Q 将 U 相从电源上自行切除。

例 4-44　三相异步电动机电容移相起动拉开“Y”形接法单相运行控制线路

图 4-44 所示即为三相异步电动机电容移相起动拉开“Y”形接法单相运行控制线路。该线路中 V、W 相串连后作为主绕组，U 相则作为辅助绕组。

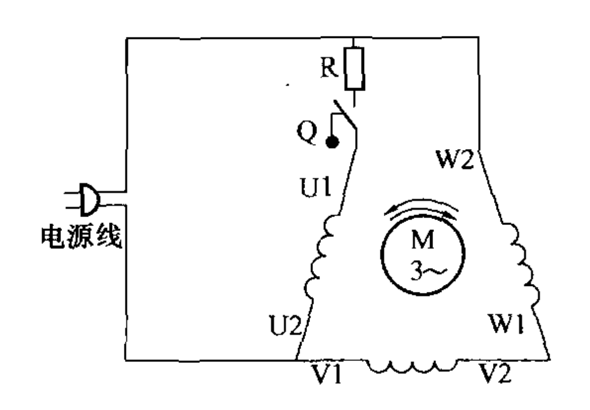


图 4-43　拉开"△"形电阻移相起动控制线路

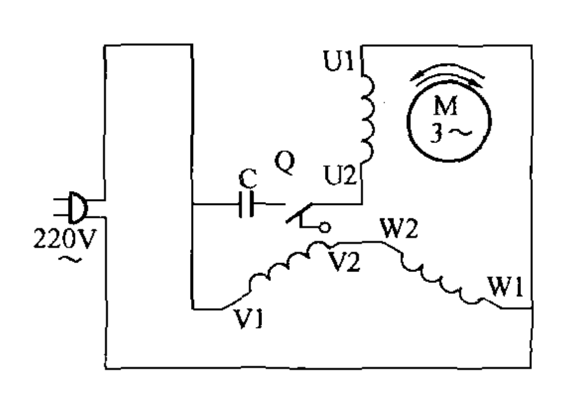


图 4-44　三相异步电动机电容移相起动拉开"Y"形接法单相运行控制线路

例 4-45　三相异步电动机电容移相拉开"△"形接法单相运行控制线路

图 4-45 所示即为三相异步电动机电容移相拉开"△"形接法单相运行控制线路。该线路在拉开电动机绕组后，在 U 相中串接了电容器 C 和离心开关 Q。

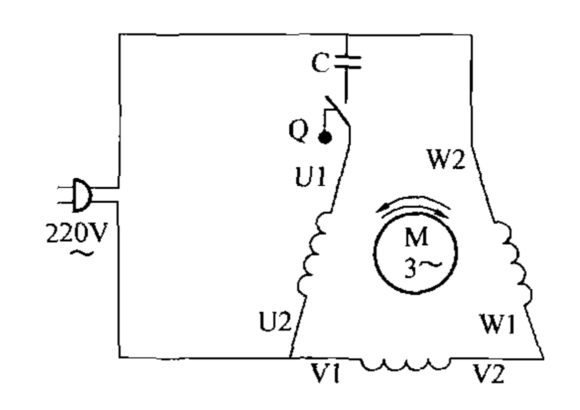


图 4-45　三相异步电动机电容移相拉开"△"形接法单相运行控制线路

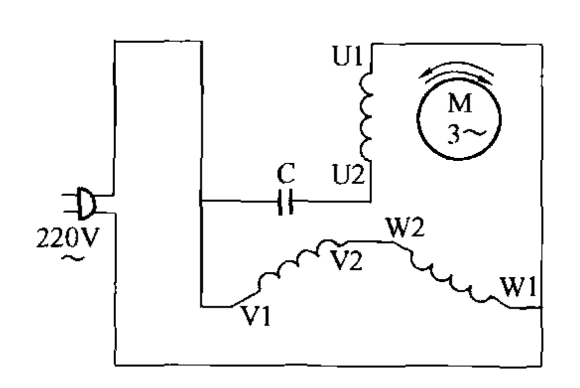


图 4-46　三相异步电动机电容移相拉开"Y"形接法单相运行控制线路

例 4-46　三相异步电动机电容移相拉开"Y"形接法单相运行控制线路

图 4-46 所示即为三相异步电动机电容移相拉开"Y"形接法单相运行控制线路。该线路在电动机 U 相绕组中串接有电容器 C，起动后电容器 C 则不脱离电源而长期参与电动机的运行。

例 4-47　三相异步电动机电容移相拉开“△”形接法单相运行控制线路

图 4-47 所示即为三相异步电动机电容移相拉开“△”形接法单相运行控制线路。该线路在拉开后的 U 相绕组中串接有电容器 C，以作为辅助绕组。

例 4-48　三相异步电动机电容移相起动、运转拉开“Y”形接法单相运行控制线路

图 4-48 所示即为三相异步电动机电容移相起动、运转拉开“Y”形接法单相运行控制线路。当电动机起动后达到接近额定转速时，离心开关 Q 将电容器 C2 从线路切除，留下电容器 C2 仍参与电动机的运行。

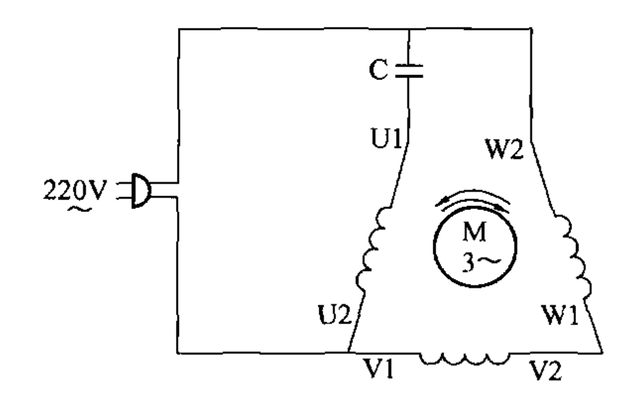


图 4-47　三相异步电动机电容移相拉开“△”形接法单相运行控制线路

图 4-48　三相异步电动机电容移相起动、运转拉开“Y”形接法单相运行控制线路

例 4-49　三相异步电动机电容移相起动、运转拉开“△”形接法单相运行控制线路

图 4-49 所示即为三相异步电动机电容移相起动、运转拉开“△”形接法单相运行控制线路。该线路由 V、W 相组成辅助绕组，U 相作为主绕组，其电容器耐压值应高于电源电压 3 倍以上才能保证安全运行。

例 4-50　三相异步电动机电抗、电容移相“Y”形接法单相运行控制线路

图 4-50 所示即为三相异步电动机电抗、电容移相“Y”形接法单相运行控制线路。电动机的电抗、电容移相的实质就是通过其外部，经电抗 L 和电容 C 来达到。

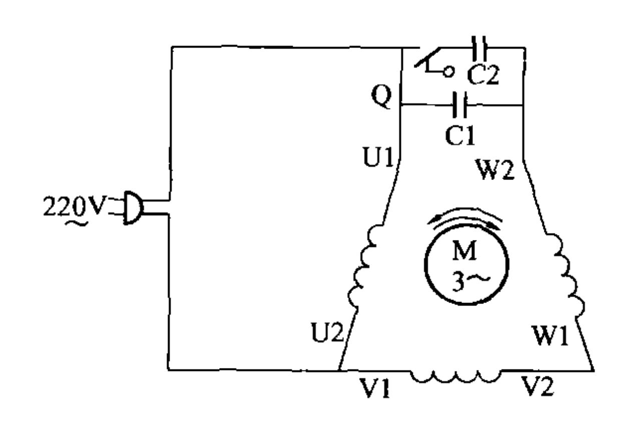


图 4-49　三相异步电动机电容移相起动、运转拉开“△”形接法单相运行控制线路

图 4-50　三相异步电动机电抗、电容移相“Y”形接法单相运行控制线路

例 4-51　三相异步电动机电容移相起动、运转“△”形接法单相运行控制线路

图 4-51 所示即为三相异步电动机电容移相起动、运转“△”形接法单相运行控制线路。该线路以 W 相作为辅助绕组，并在其上接有电容器 C1、C2，经离心开关 Q 将 C2 于起动后从线路中断开，C1 则仍留在线路中长期运行。

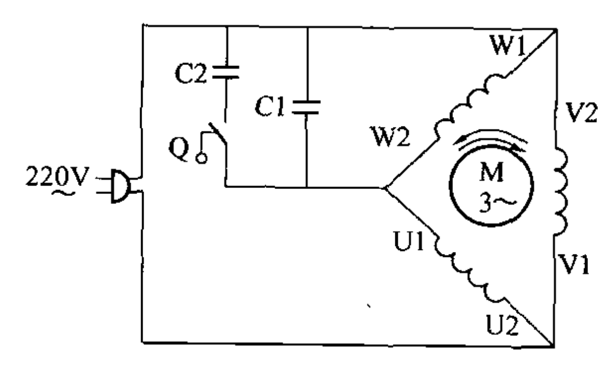


图 4-51　三相异步电动机电容移相起动、运转“△”形接法单相运行控制线路

第4节　串励电动机控制线路

单相串励电动机具有转速高、体积小、重量轻、效率高、起动转矩大、过载能力强及调速方便等一系列优点，因而大量应用于家用电器、电动工具、医疗器械和小型机床等方面。其主要缺点是噪声和振动较大，以及对无线电波的电磁干扰。

例4-52　单相交流串励电动机电气控制线路

图4-52所示即为单相交流串励电动机电气控制线路。该线路中的串励电动机依其励磁绕组的不同接法分为：(a) 励磁绕组串接在电枢两侧；(b) 励磁绕组分串于电枢两侧。

例4-53　交、直流两用串励电动机接线原理图

图4-53所示即为交、直流两用串励电动机接线原理图。单相串励电动机经特殊设计后，它可以在交、直流两种电源下运行。为保证在两种电源下运行时均具有相同的转速和良好性能，就必须增加电动机在直流电源运行时励磁绕组的匝数，所加匝数串于交流绕组两端。

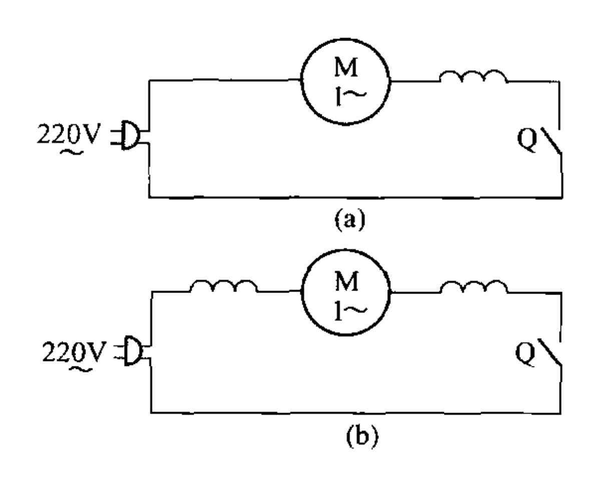


图4-52　单相交流串励电动机电气控制线路

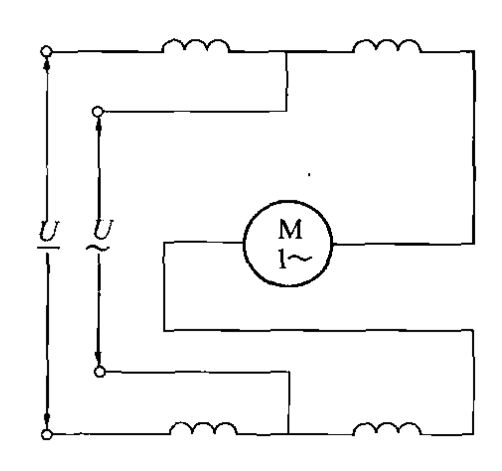
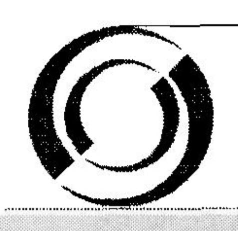


图4-53　交、直流两用串励电动机接线原理图



第 5 章 同步电动机电气控制线路

同步电动机因其转速恒定和功率因数高的特点，被主要用于拖动恒速运转的大型机械设备，如空压机、球磨机、离心式水泵等。同步电动机的电气控制线路比异步电动机要稍显复杂，其常见电气控制线路可分为以下几种，即：单相同步电动机电气控制线路；三相同步电动机控制线路；三相同步电动机励磁系统电气线路。本章选绘了这方面部分控制线路图。

第 1 节　单相同步电动机电气控制线路

单相同步电动机多为小功率电机，它的定子结构与单相异步电动机基本相似，其功能也是用来产生旋转磁场。单相同步电动机的转子结构却有所不同，根据转子结构的差异它则分为反应式、磁滞式和永磁式 3 种类型。

例 5-1　内反应式电容运转单相同步电动机控制线路

图 5-1 所示即为内反应式电容运转单相同步电动机控制线路。反应式单相电动机的结构与笼形单相异步电动机基本相同，

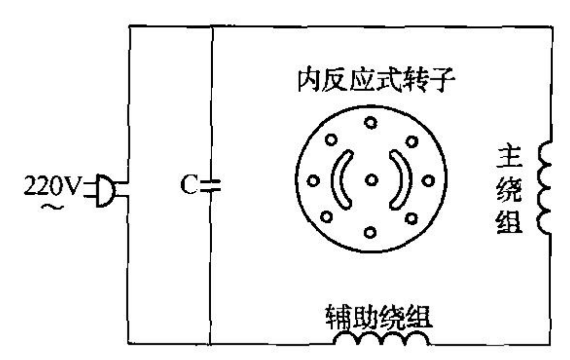


图 5-1　内反应式电容运转单相同步电动机控制线路

依据其转子结构的差异则分为：外反应式，内反应式，内、外反应式3种类型。

例5-2　外反应式电容起动单相同步电动机控制线路

图5-2所示即为外反应式电容起动单相同步电动机控制线路。反应式同步电动机是利用转子上交轴和直轴磁阻不等，从而产生转矩去推动转子旋转的。因系磁阻转矩，故又称为单相磁阻式同步电动机。

例5-3　内、外反应式电容起动与运转同步电动机控制线路

图5-3所示即为内、外反应式电容起动与运转同步电动机控制线路。反应式同步电动机的转子上无激磁绕组，因而作用在转子上的转矩平均值为零，故这种单相电动机在转子槽中需增设供起动用的笼形绕组。

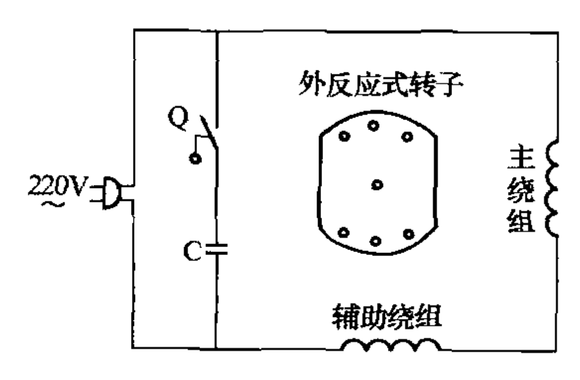


图5-2　外反应式电容起动单相同步电动机控制线路

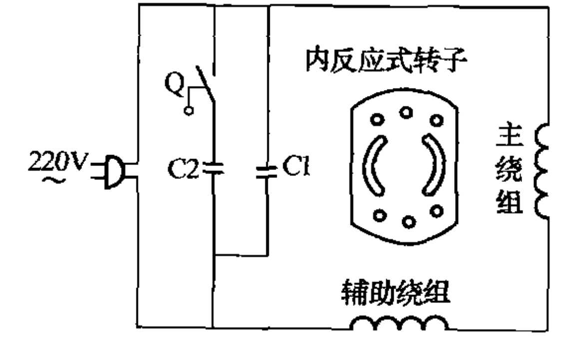


图5-3　内、外反应式电容起动与运转同步电动机控制线路

例5-4　磁滞式单相同步电动机控制线路

图5-4所示即为磁滞式单相同步电动机控制线路。这种单相同步电动机是一种利用磁滞作用产生转矩的电动机。其主要特点是本身具有起动转矩，能自行进入同步并稳定地

图5-4　磁滞式单相同步电动机控制线路

运转，而且其结构简单可靠。

第2节 三相同步电动机电气控制线路

三相同步电动机由于本身不具有起动转矩，因此它基本上都采用异步起动法起动。该种起动方法是在电机设计制造时即在其转子磁极铁芯圆周的表面上，加装有一套笼形绕组作为起动绕组，以用作电动机异步起动。待电动机转速接近同步转速95%以上时，即给转子绕组供给励磁电流，从而将电动机牵入同步。该笼状绕组也称阻尼绕组，它同时还起着稳定电动机同步转速的作用。

例5-5 三相同步电动机的几种异步起动法

图5-5所示即为三相同步电动机的几种异步起动法。(a) 为全压起动，其起动转矩、起动电流都很大，附属设备少、操作简单、维护方便，是广泛使用的一种起动方法，但要求电网容量大。(b)、(c) 为电阻及电抗降压起动，其转矩的大小能够适当调节，但一般均比较低，起动时加速平滑，通常适用于空载起动的场合。由于电阻器、电抗器结构简单，因而故障少可靠性较高。

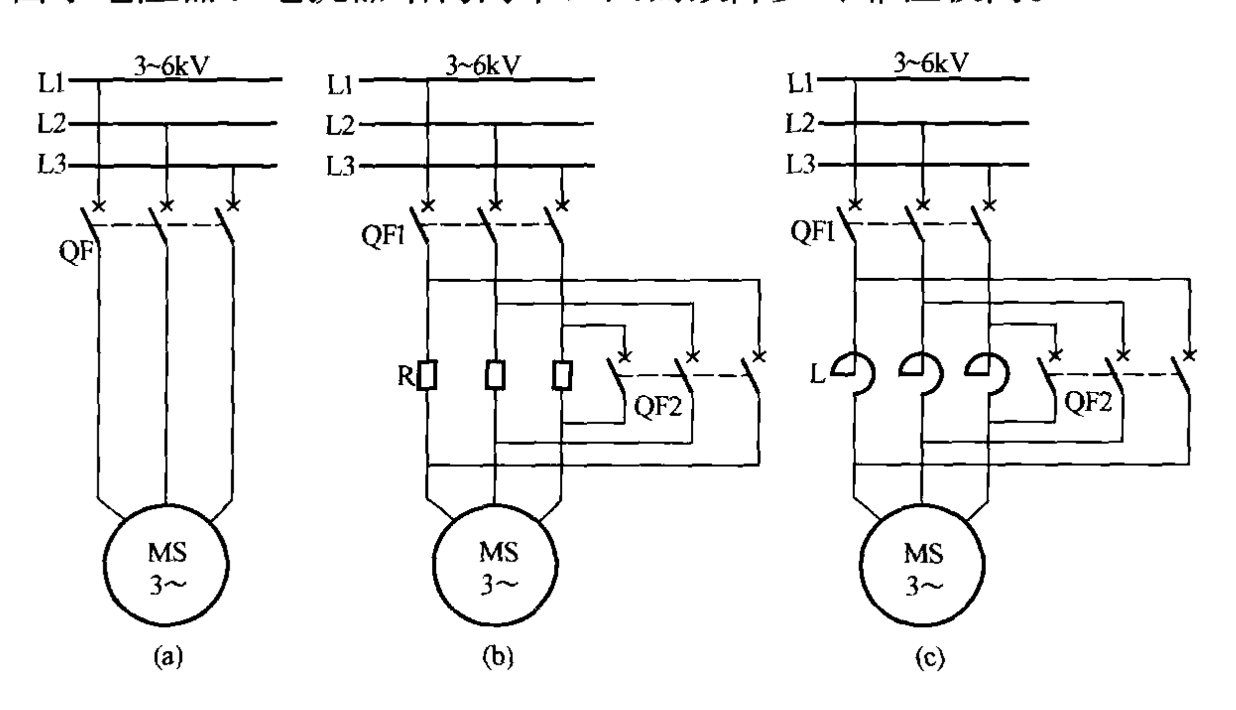


图5-5 三相同步电动机的几种异步起动法

(a) 全压起动；(b) 电阻降压起动；(c) 电抗降压起动

例 5-6　三相同步电动机定子全压起动控制线路

图 5-6 所示即为三相同步电动机定子全压起动控制线路。同步电动机的起动可根据需要采用全压起动或降压起动。一般要求重载起动的电动机多为全压起动，因其具有较大的起动转矩，但缺点是对电源的冲击较大。降压起动则适用于空载、轻载起动场合。

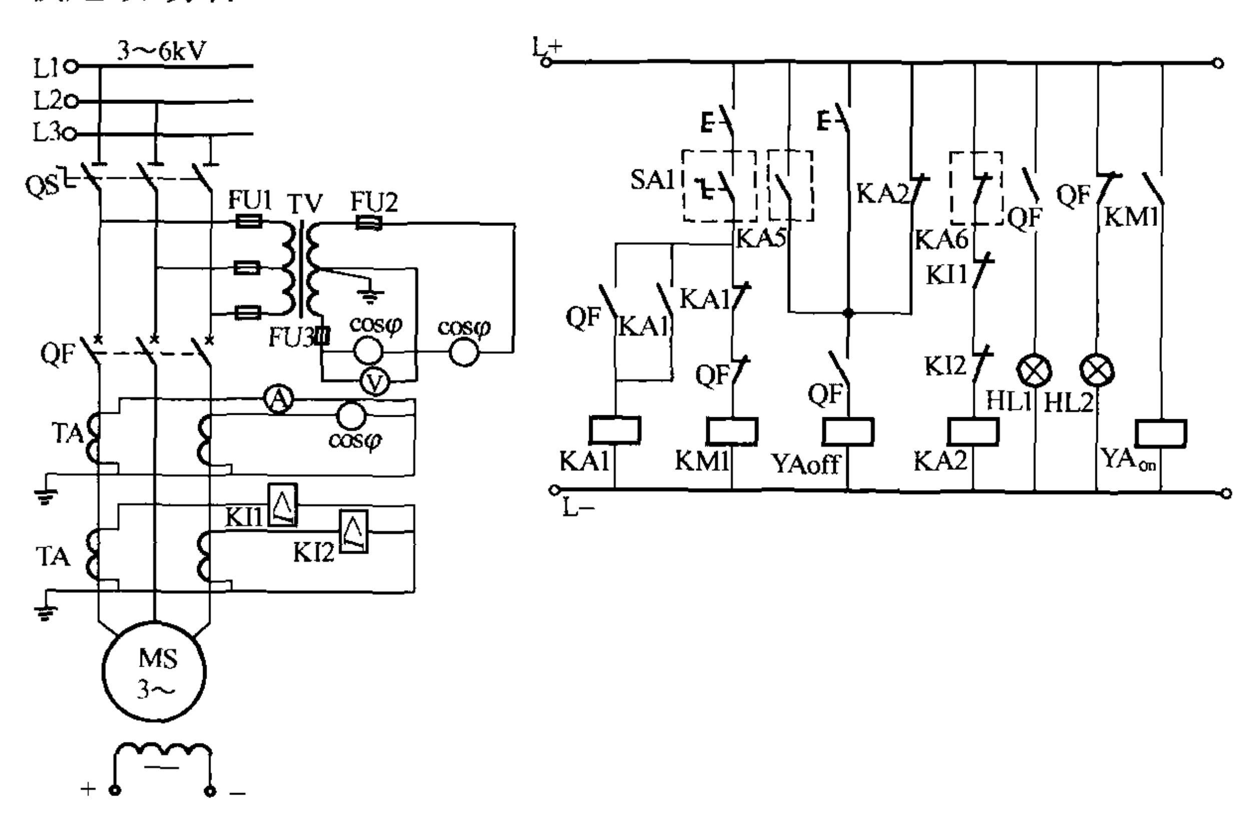


图 5-6　三相同步电动机定子全压起动控制线路

例 5-7　同步电动机按电流原则加励磁的原理图

图 5-7 所示即为同步电动机按电流原则加励磁的原理图。在同步电动机作为异步起动时，其定子电流都会很大，而当转速达到同步时则电流将下降。因此，可利用定子电流值的变化来反映电动机的转速状况，并以此为依据来加入励磁电流。

例 5-8　同步电动机按频率原则加励磁的原理图

图 5-8 所示即为同步电动机按频率原则加励磁的原理图。同步电动机起动时，要待其转速达到准同步转速及以上时才投入励磁。转速监测则可从定子回路电流值的变化来反映，也可由转子频率参数来控制，以适时加入转子的励磁电流。

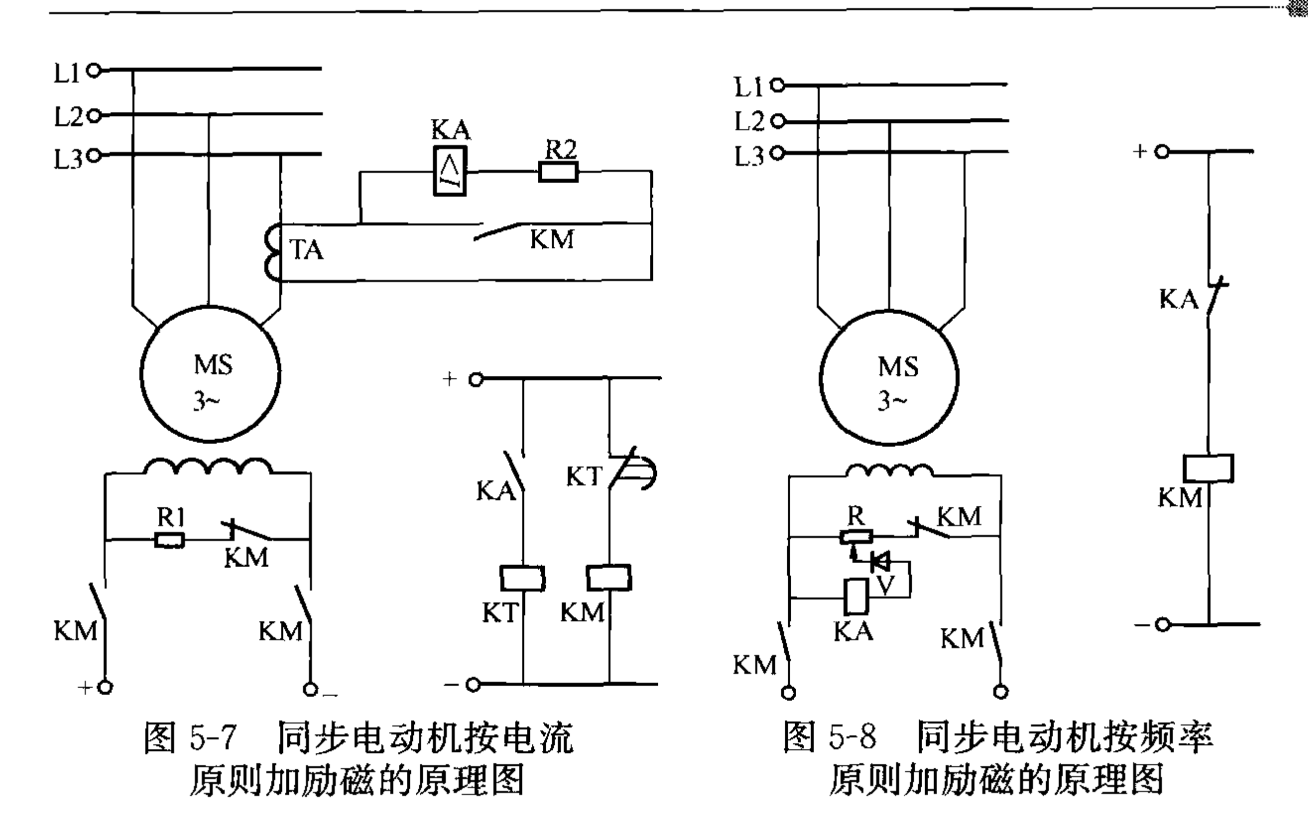


图 5-7　同步电动机按电流原则加励磁的原理图

图 5-8　同步电动机按频率原则加励磁的原理图

例 5-9　三相同步电动机按频率原则加入励磁的控制线路

图 5-9 所示即为三相同步电动机按频率原则加入励磁的控制

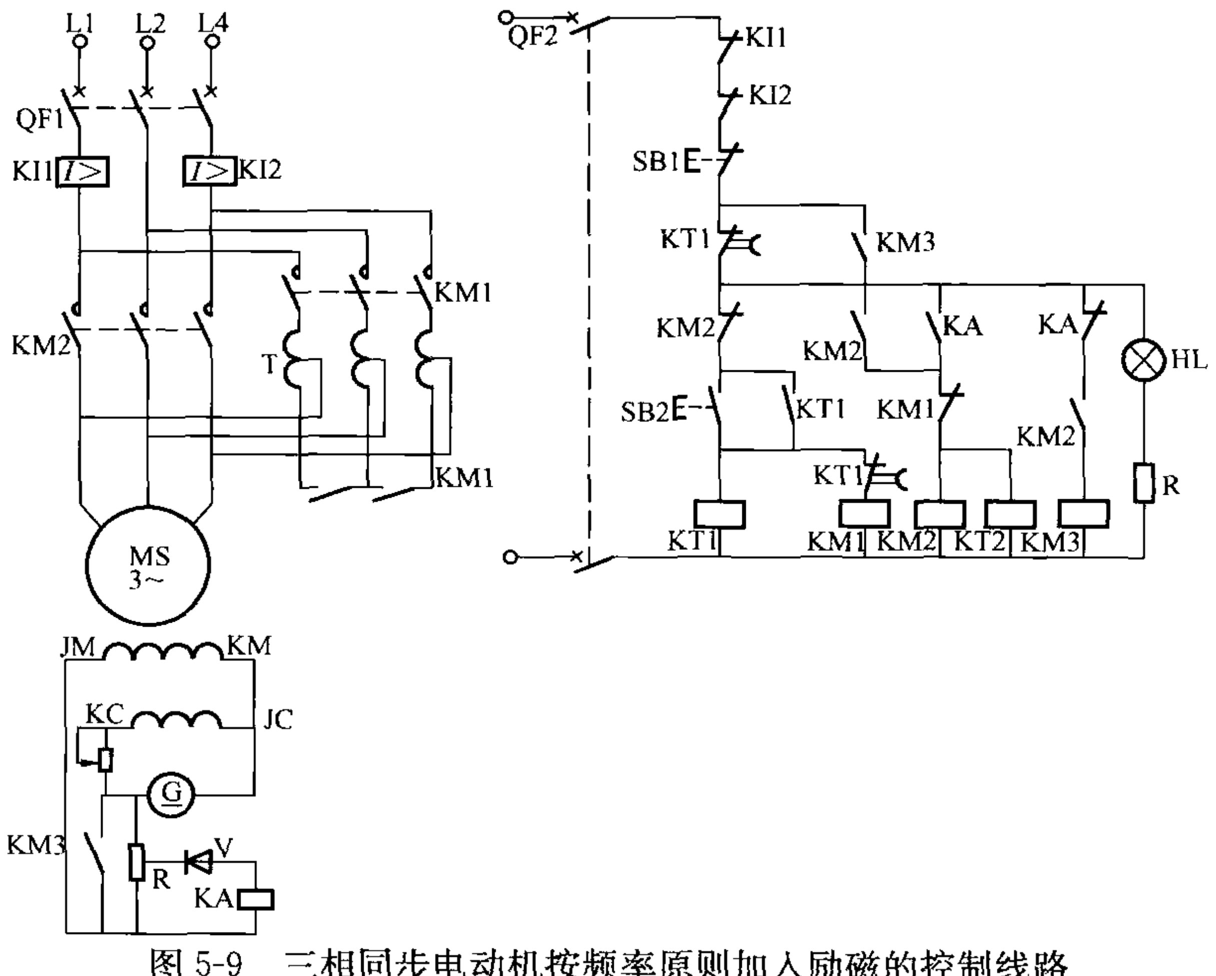


图 5-9　三相同步电动机按频率原则加入励磁的控制线路

线路。该线路采取在电动机定子侧用自耦变压器降压起动，转子部分则为按频率原则加入励磁。励磁电源则由直流发电机供给，线路主要由极性继电器、时间继电器、过电流继电器、交流接触器等组成。降压起动则设有联锁保护，过流继电器用作过载保护。

例 5-10　三相同步电动机按定子电流原则加入励磁的主电路

图 5-10 所示即为三相同步电动机按定子电流原则加励磁的主电路。从图中可以看出，当同步电动机的转速达到准同

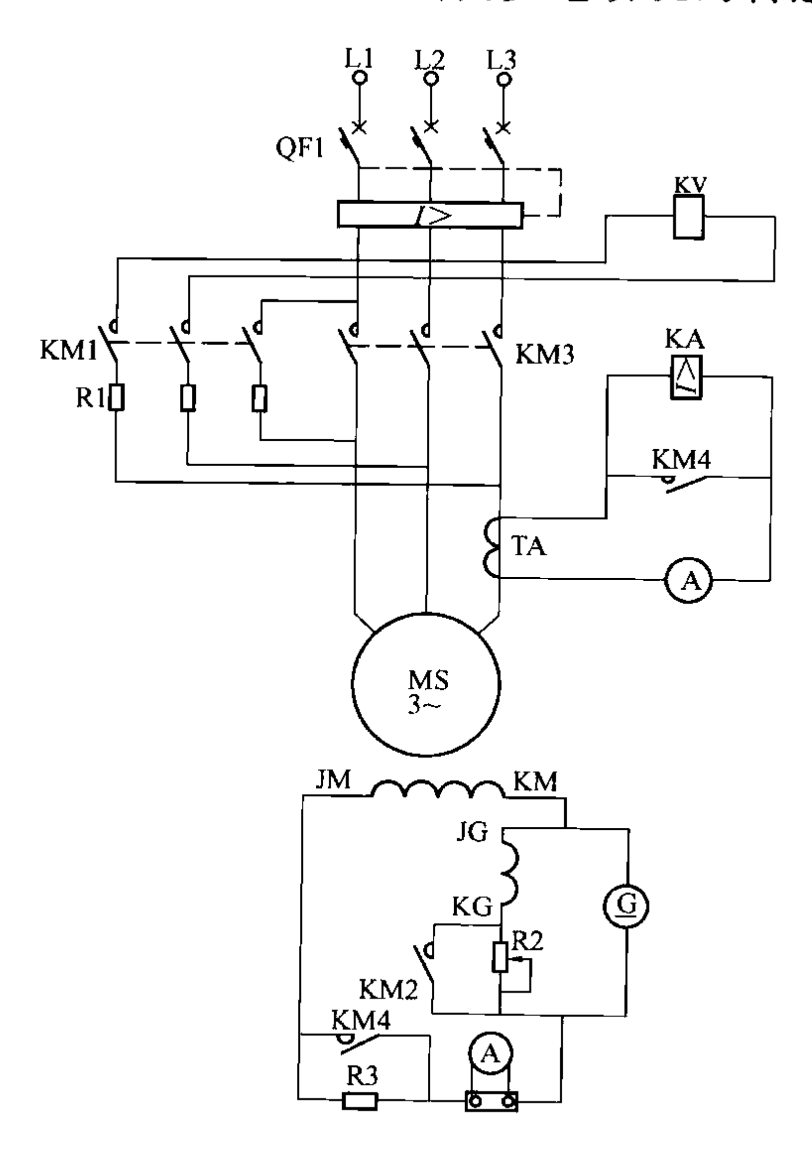


图 5-10　三相同步电动机按定子电流原则加入励磁的主电路

步速时，其定子电流下降到使电流继电器 KA 释放，使时间继电器 KT 释放，在经过一段延时后，延时闭合的动断触点闭合，使接触器 KM 通电吸合，切除放电电阻 R1，并投入励磁电流。

例 5-11　三相同步电动机按定子电流原则加入励磁的控制线路

图 5-11 所示即为三相同步电动机按定子电流原则加入励磁的控制线路。从图中可以看出，该线路中还设有一级强励磁环节。

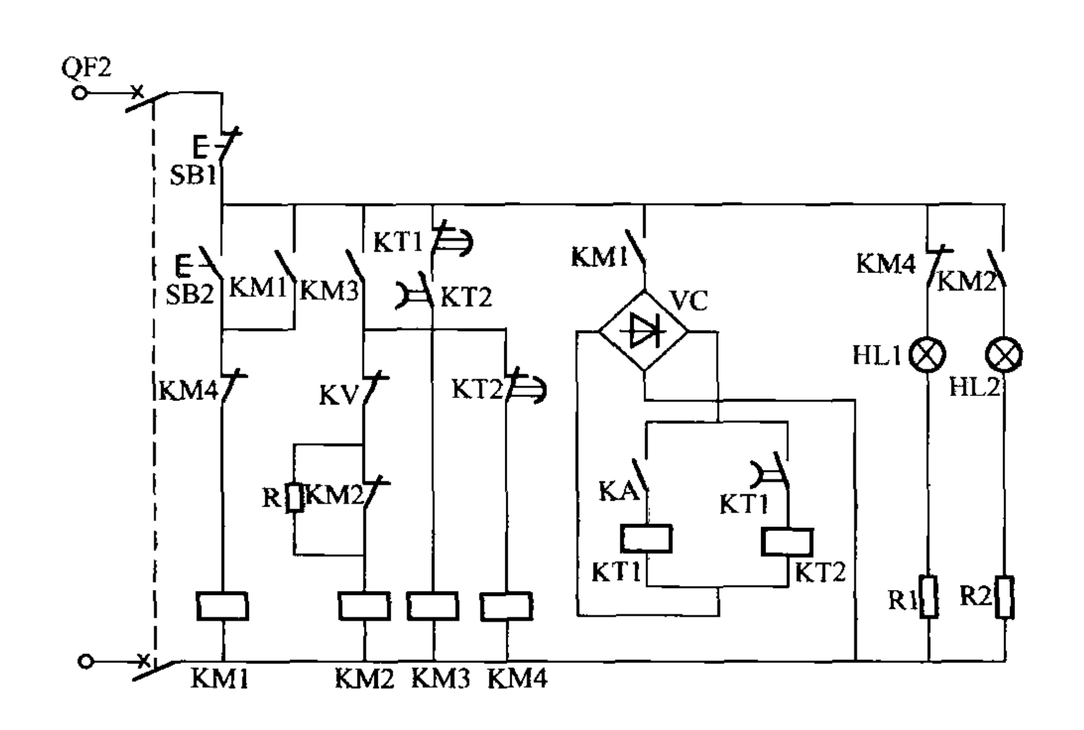


图 5-11　三相同步电动机按定子电流原则加入励磁的控制线路

例 5-12　按定子电流原则加入励磁的电抗降压起动控制线路

图 5-12 所示即为按定子电流原则加入励磁的电抗降压起动控制线路。该线路中增加 3 组电抗器用作电动机降压起动。

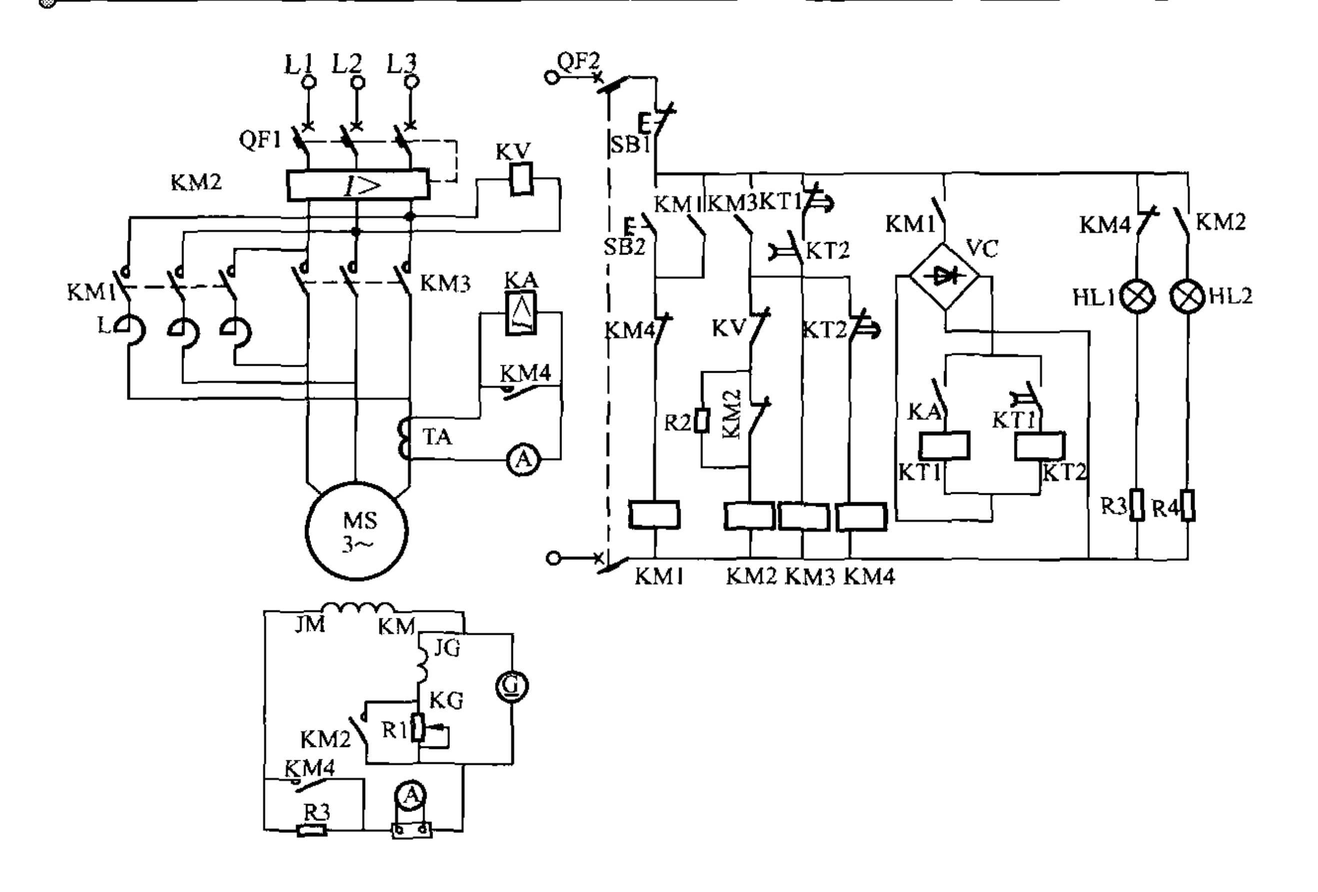


图 5-12 按定子电流原则加入励磁的电抗降压起动控制线路

第 3 节 三相同步电动机励磁系统电气线路

三相同步电动机的励磁系统一般包括励磁机（或整流器）、手调励磁装置、自动励磁调节器、灭磁装置等。同步电动机的励磁电流可由直流励磁机直接供给，也可由交流电源经可控或不可控整流器整流后再供给。

例 5-13 同步电动机用直流发电机励磁系统的电气线路

图 5-13 所示即为同步电动机用直流发电机励磁系统的电气线路。线路（a）适用于无自动再同步要求且为轻负载的三相同步电动机；线路（b）适宜带较重负载三相同步电动机作励磁电源；线路（c）则适用于有自动再同步要求且带有重负载的三相同步电动机。

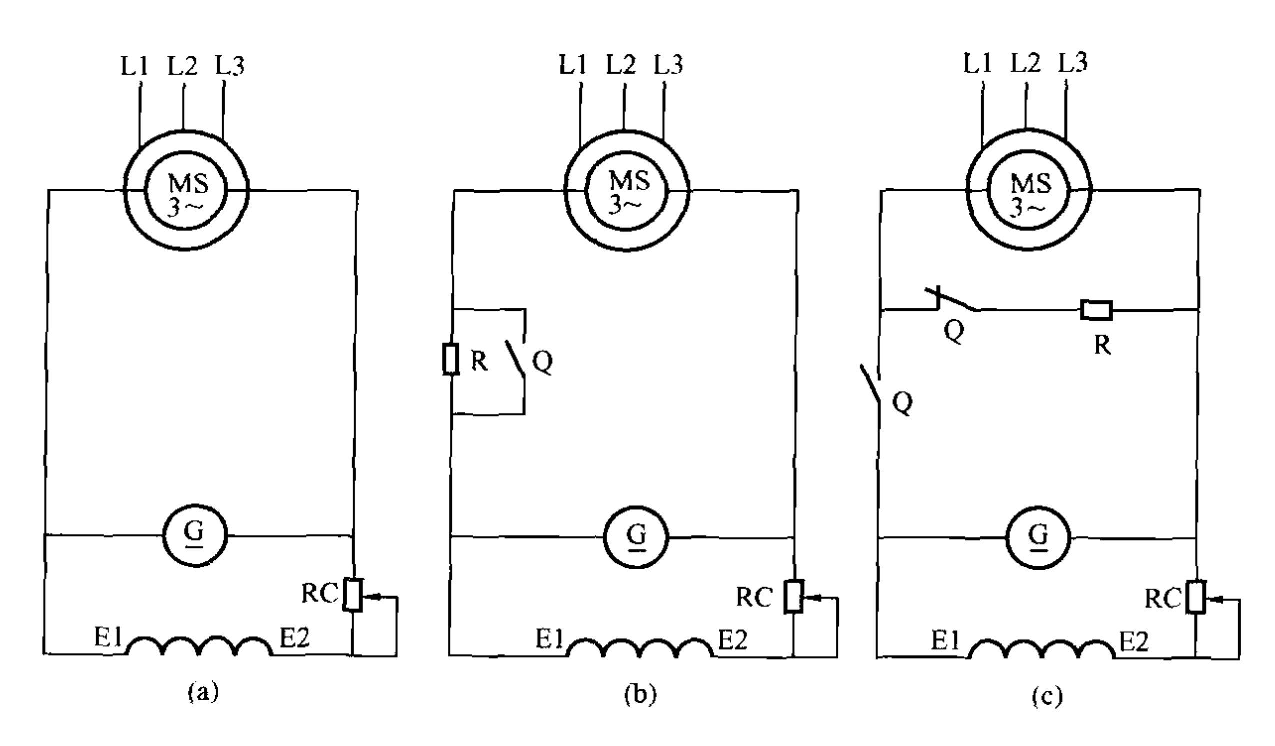


图 5-13　同步电动机用直流发电机励磁系统的电气线路

（a）磁场变阻器的电气线路；（b）电阻器串联电气线路；

（c）电阻器并联电气线路

例 5-14　自励整流器励磁的自并励系统电气线路

图 5-14 所示即为自励整流器励磁的自并励系统电气线路。它从同步电动机的电压及电流两者取得能量。

例 5-15　自励整流器励磁的直流侧并联自复励系统

图 5-15 所示即为自励整流励磁的直流侧并联自复励系统。

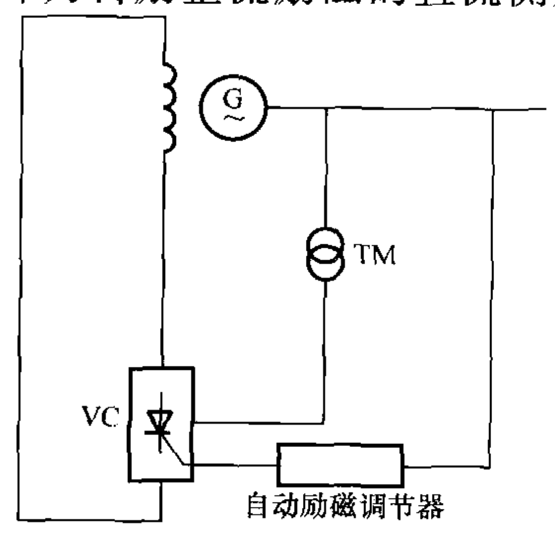


图 5-14　自励整流器励磁的自并励系统电气线路

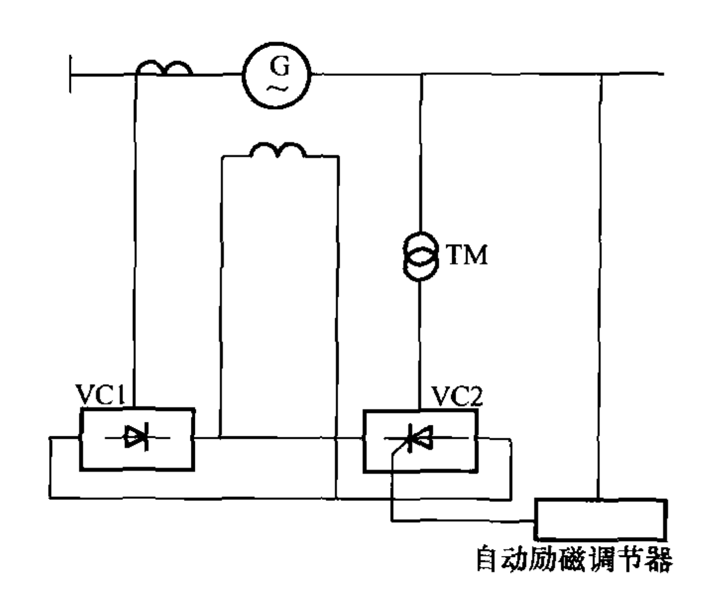


图 5-15　自励整流器励磁的直流侧并联自复励系统

它是从同步电动机的电压及电流取得能量的一种自励系统，能适用于各级容量的同步电动机。

例 5-16　三相同步电动机晶闸管励磁系统方框图

图 5-16 所示即为三相同步电动机晶闸管励磁系统方框图。该线路整个励磁系统由励磁变压器 TM、自动励磁调节器、晶闸

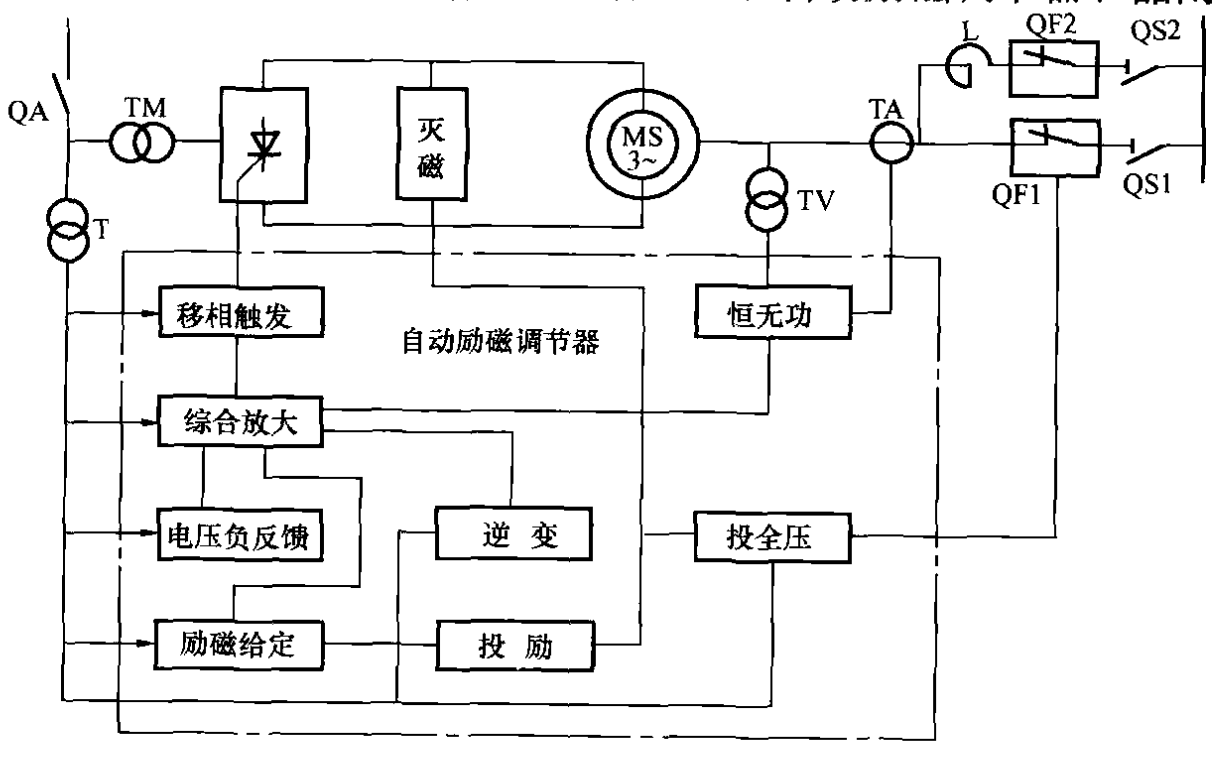


图 5-16　三相同步电动机晶闸管励磁系统方框图

管整流器及灭磁装置等组成。系统的励磁电源能保持电动机固有的起动特性，并具有在降压起动时自动切除起动电抗器及电动机加速至准同步转速时自动投入励磁，以及手动调节励磁电流、强励、过电压保护等功能。

第 6 章

直流电动机电气控制线路



Chapter 6

直流电动机由于具有良好的起动、调速、制动、过载性能，以及适宜频繁快速起动等优点，从而在要求具有无级调速或大起动转矩的机械设备中得到采用。本章选绘了直流电动机的原理接线电气线路；起动控制线路；可逆运行控制线路；调速控制线路；制动控制线路等的部分线路。

第 1 节　原理接线电气线路

直流电动机按励磁方式可分为他励式和自励式两大类。自励式则分为串励式、并励式、复励式这 3 种主要形式，他励和并励直流电动机的控制线路非常接近，串励和复励直流电动机的控制线路则不相同。下面即为直流电动机几种常见原理接线电气线路。

例 6-1　他励直流电动机原理接线电气线路

图 6-1 所示即为他励直流电动机原理接线电气线路。从图中可以看出他励直流电动机的电枢电源与励磁电源分别由两个独立的直流电源供电，并且在电动机起动时，必须先接上或至少同时接上额定励磁电压的电源，以保证较大的起动转矩和加速起动过程，同时也可防止转速过高引起的“飞车”事故发生。

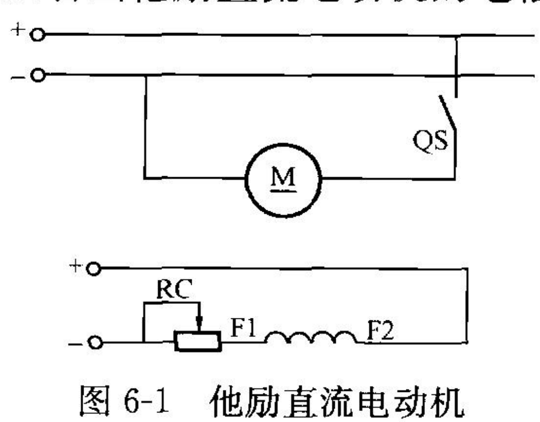


图 6-1　他励直流电动机原理接线电气线路

例 6-2 并励直流电动机原理接线电气线路

图 6-2 所示即为并励直流电动机原理接线电气线路。并励直流电动机的励磁绕组与电枢绕组均并接在同一直流电源上，由于直流电压恒定不变，这就与励磁绕组单独接在另一电源的效果完全一样，因此并励直流电动机与他励直流电动机的运行性能都是相同的。并励直流电动机是自励式励磁的一种。

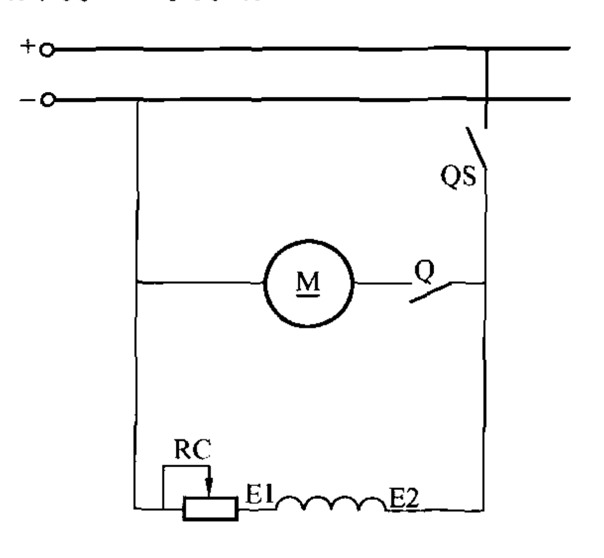


图 6-2 并励直流电动机原理接线电气线路

例 6-3 串励直流电动机原理接线电气线路

图 6-3 所示即为串励直流电动机原理接线电气线路。由于该电动机的励磁绕组与电枢绕组为串连相接，故其励磁电流即等于电枢电流。串励直流电动机为软机械特性，它在空载和轻载时，其转速将会上升到危险数值，因此，串励直流电动机不允许在空载或小于 20%～30%额定负载下运行。以免因超速而损坏电动机。

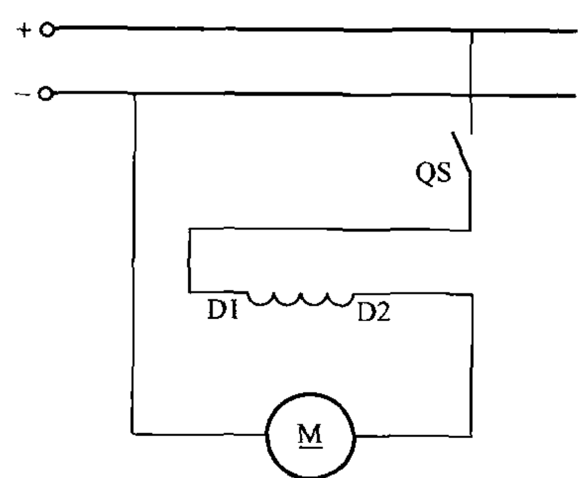


图 6-3 串励直流电动机原理接线电气线路

例 6-4 复励直流电动机原理接线电气线路

图 6-4 所示即为复励直流电动机原理接线电气线路。从图中可以看出，复励直流电动机的励磁绕组分为两部分，其中一部分与电枢绕组并联，是主要部分；另一部分则与电枢绕组串联。通用的复励直流电动机多为并励绕组与串励绕组的磁化作用相加的积复励形式。复励直流电动机的转速特性则介

于并、串励直流电动机两者之间。

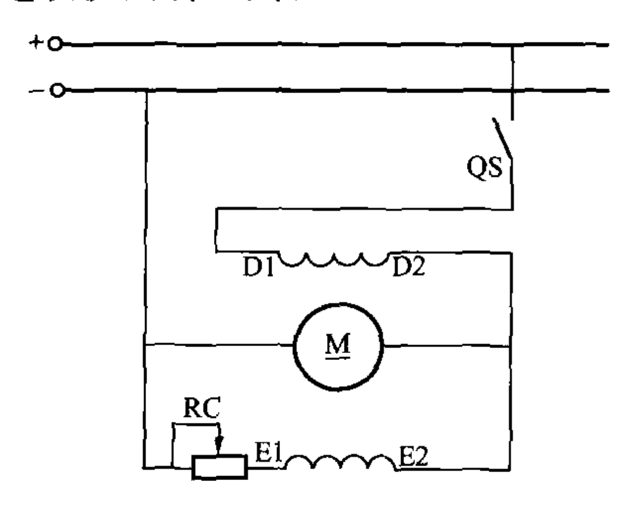


图 6-4 复励直流电动机原理接线电气线路

第2节 起动控制线路

由于直流电动机电枢绕组的电阻值一般都很小，如果直接起动将会产生较大的起动电流，从而对电动机的换向不利。同时较大的起动转矩也会使被拖动机械受到很大冲击。因此，电动机起动时必须限制其起动电流。常用限制起动电流的方法有两种，即降低电枢电压和在电枢回路增加电阻。

例 6-5 他励直流电动机三级电阻起动控制线路

图 6-5 所示即为他励直流电动机三级电阻起动控制线路。该线路在他励直流电动机的电枢电路串有三级起动电阻 R1、R2、R3，利用 3 只时间继电器 KT1、KT2、KT3 依次切除起动电阻。准备起动时，励磁绕组和主电路、控制电路均加上直流电源，操作主令控制器 LK（1～7）即可接通电路。停止运行时只须 LK 置于零位。

例 6-6 他励直流电动机用按钮操作的自动起动控制线路

图 6-6 所示即为他励直流电动机用按钮操作的自动起动控制线路。该线路起动时，首先应将励磁绕组和主电路、控制电路都接上直流电源，用按钮操作利用时间继电器自动起动控制电动机。因线路简单可靠，故得到广泛采用。

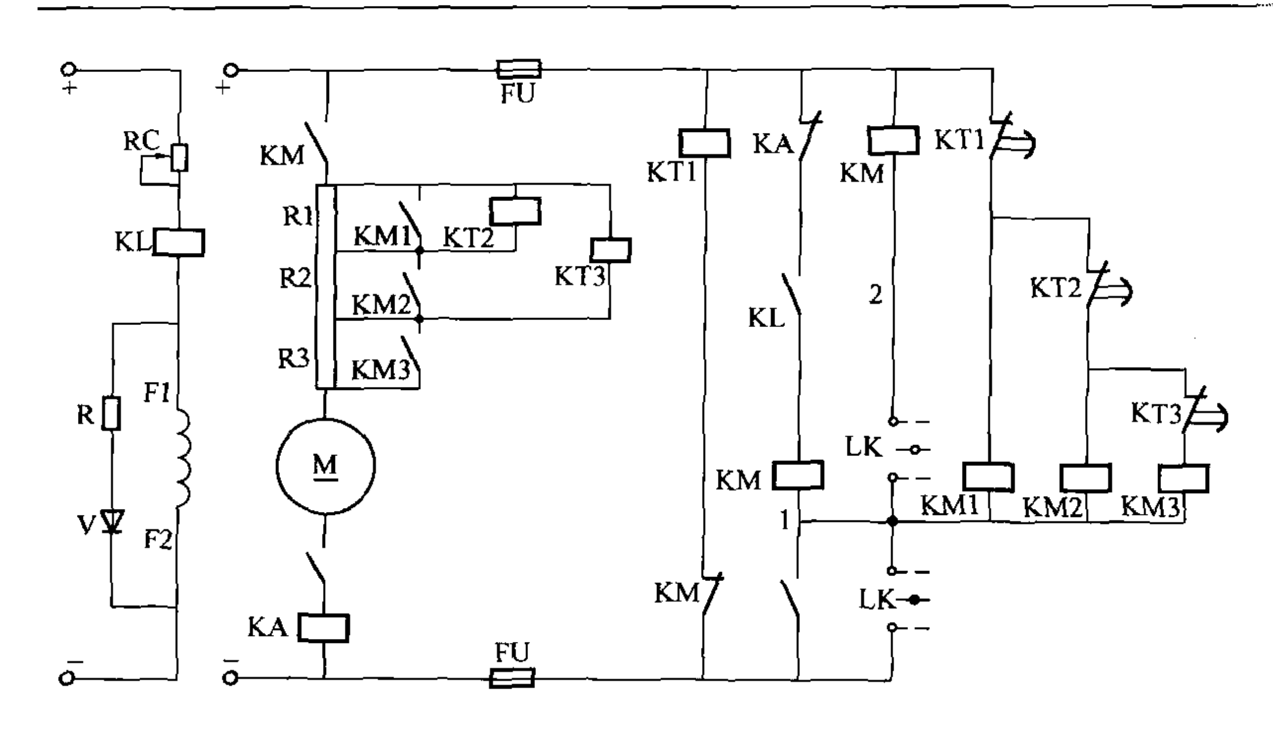


图 6-5 他励直流电动机三级电阻起动控制线路

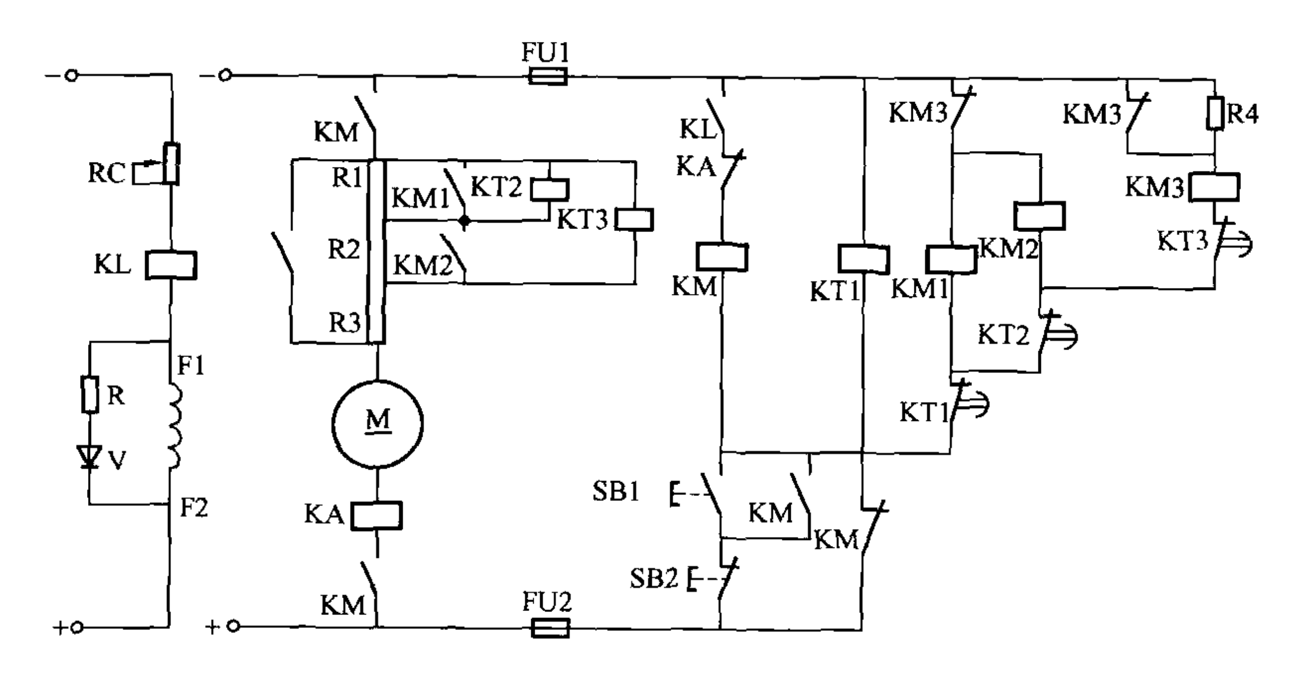


图 6-6 他励直流电动机用按钮操作的自动起动控制线路

例 6-7 并励直流电动机起动控制线路

图 6-7 所示即为并励直流电动机起动控制线路。该线路为并励直流电动机在电枢回路串电阻，分两级起动的控制线路。经时间继电器 KT1、KT2 按延时顺序，依次短接电阻以完成电动机逐级起动的过程。

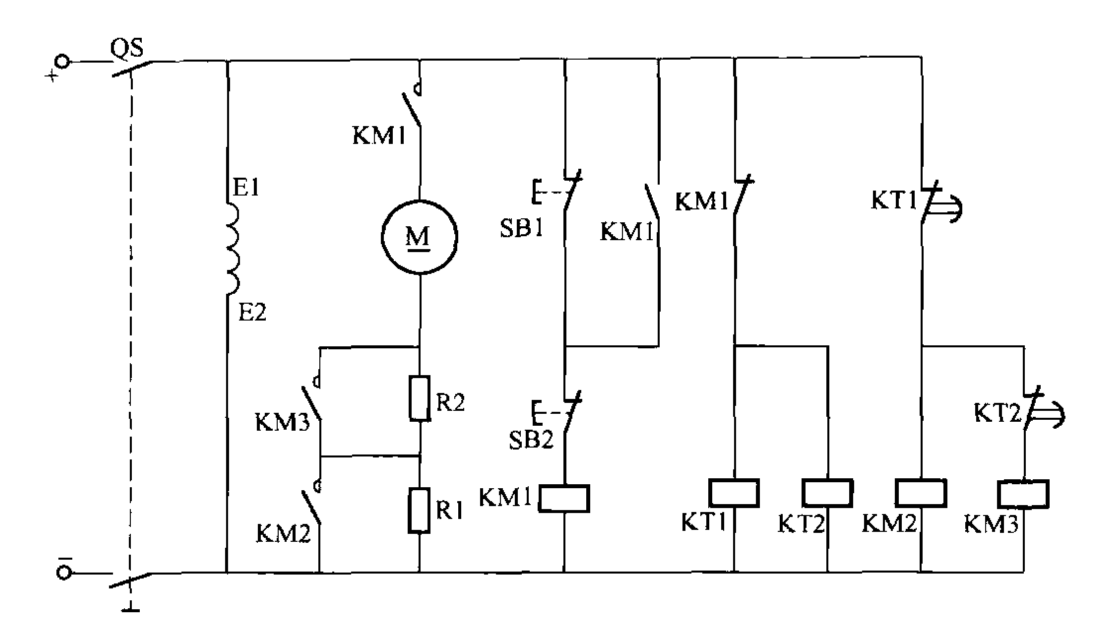


图 6-7　并励直流电动机起动控制线路

例 6-8　串励直流电动机起动控制线路

图 6-8 所示即为串励直流电动机起动控制线路。串励直流电动机具有较好的起动性能，比他励和并励直流电动机的起动转矩均要大。但它的转速却随其负载转矩的大小而增减，故串励直流电动机在空载和轻载时，将产生过高甚至危险的转速，使电动机

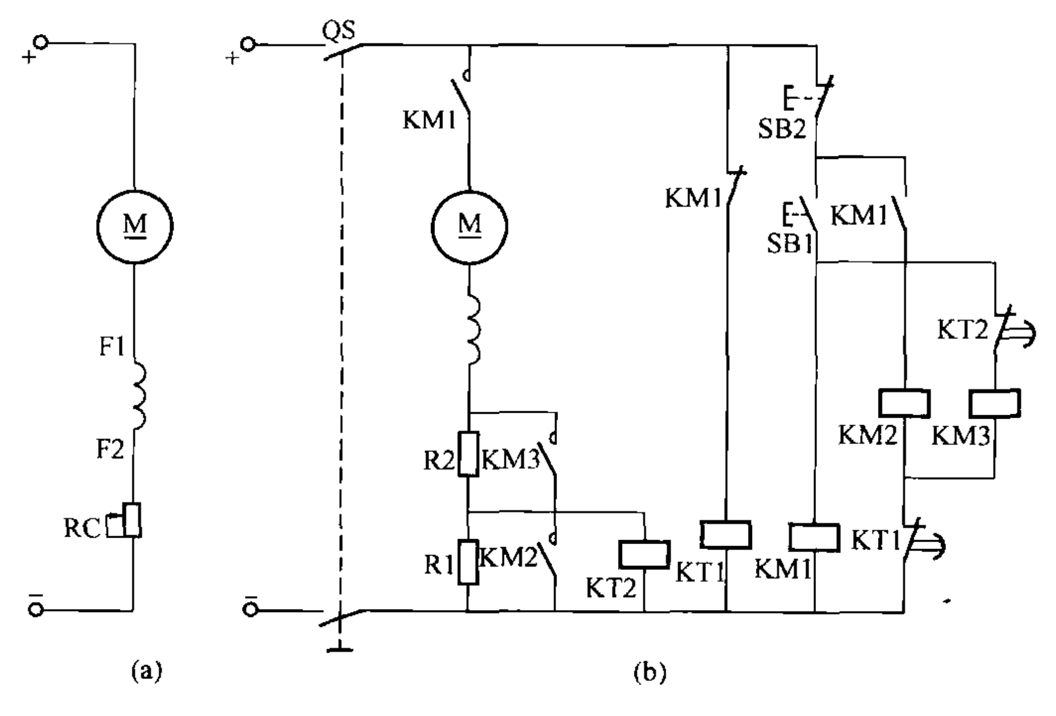


图 6-8　串励直流电动机起动控制线路

（a）接线原理图；（b）控制线路图

性能恶化或甩坏，因此不允许其空、轻载起动和运行。

第3节 可逆运行控制线路

直流电动机的可逆运行有改变电枢电流方向和励磁绕组电流方向这两种方法。通常情况下多使用前一种方法，因为在后一种方法中，由于励磁绕组线匝数都比较多，实行反转时将会在绕组内产生瞬间数值极大的感应电势，从而有可能击穿绕组自身绝缘，所以在一般情况下较少采用。

例 6-9 串励直流电动机的控制线路（蓄电池车）

图 6-9 所示即为串励直流电动机的控制线路。该线路中的串励直流电动机具有两组串励绕组，其改变转向的方法是保持磁场电流方向不变，用改变电枢电流方向来实现正、反转的运行。蓄电池车的前进与后退，由控制开关 SA2 的倒、顺来控制。

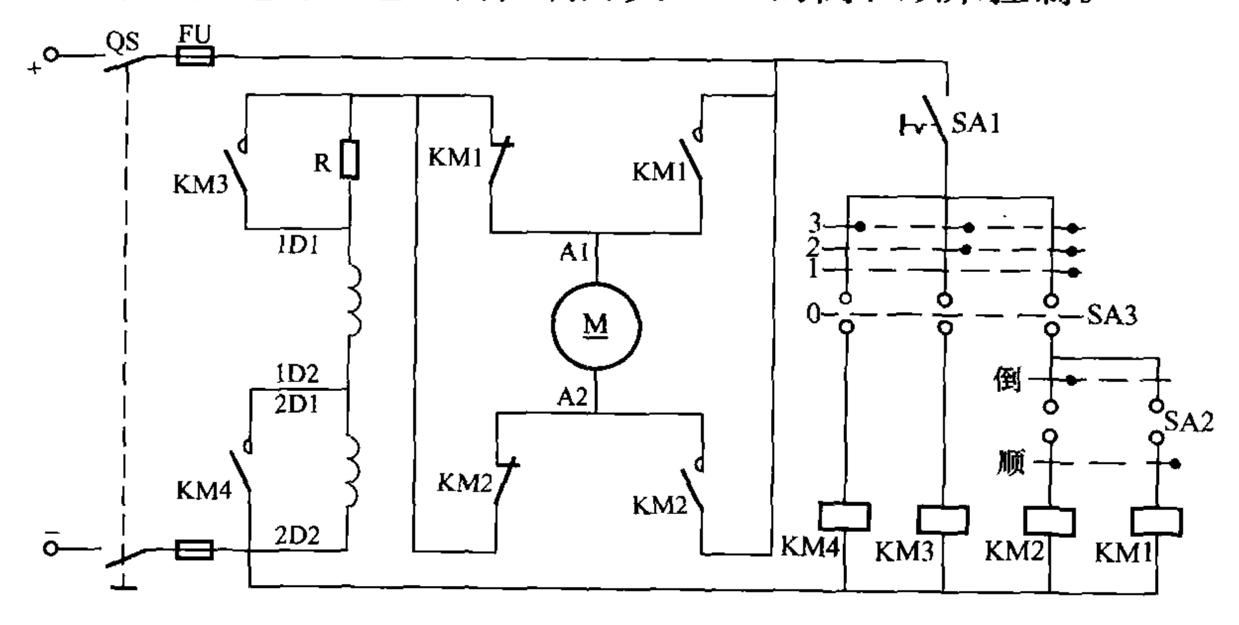


图 6-9 串励直流电动机的控制线路（蓄电池车电路）

例 6-10 他励直流电动机可逆运行控制线路

图 6-10 所示即为他励直流电动机可逆运行控制线路。实用中他励直流电动机的反转均采用改变电枢电流的方法，如本图（a）所示，经过正、反向接触器 KM1、KM2 的通断控制，去改

变电枢电流的方向，继而改变电动机的转向。本图（b）即为可逆运行的他励直流电动机的控制线路，该线路采用改变电枢电流方向来使电动机反转。操作时按下按钮 SB1，接触器 KM1 动作，电枢绕组 A1 接到电源正端，他励直流电动机作正向旋转；当按下按钮 SB2 时则接触器 KM2 动作，这时电枢绕组 A2 改接电源正端，于是该电动机即作反向运转。

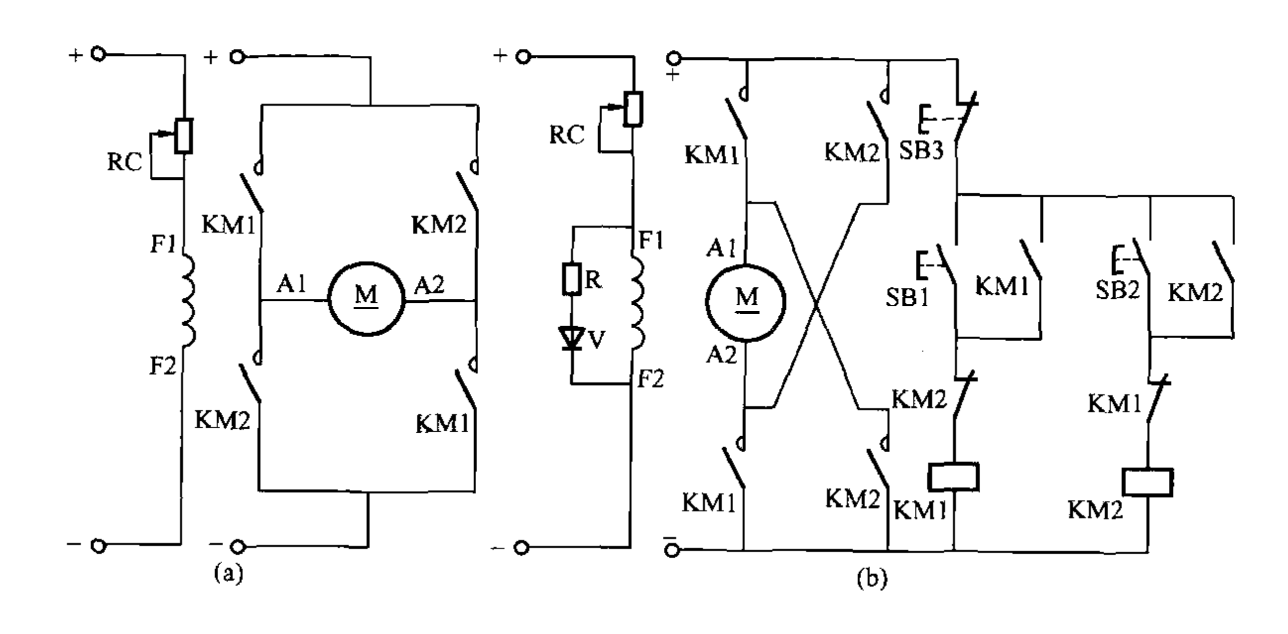


图 6-10　他励直流电动机可逆运行控制线路

（a）原理接线图；（b）控制线路图

例 6-11　并励直流电动机电枢反接法可逆运行控制线路

图 6-11 所示即为并励直流电动机电枢反接法可逆运行控制

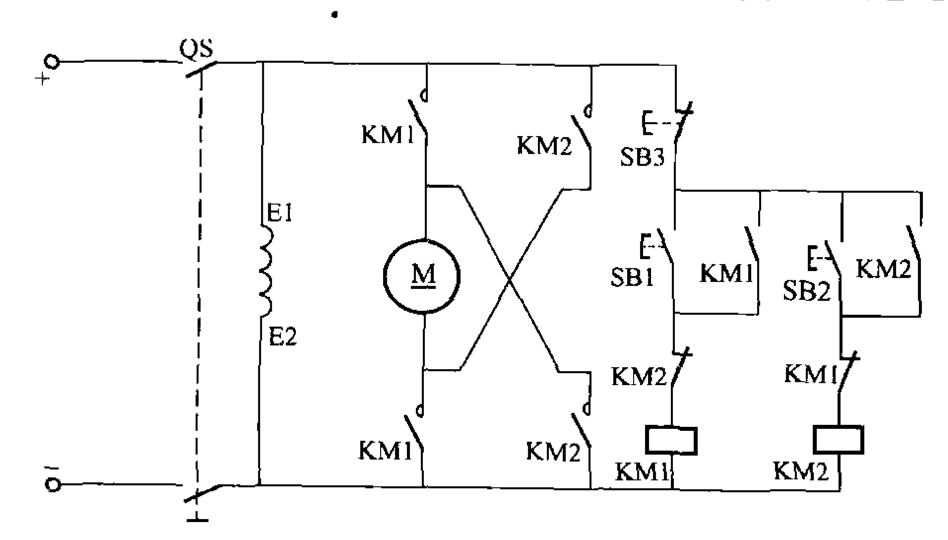


图 6-11　并励直流电动机电枢反接法可逆运行控制线路

线路。当按下起动按钮 SB1 时，接触器 KM1 获电动作，电枢绕组被接入电源电动机即作正向运转；如果要电动机反转则先按下停止按钮 SB3 使其停止运行，再按下另一只起动按钮 SB2 以使接触器 KM2 闭合，并励直流电动机即作反向运行。

例 6-12　串励直流电动机可逆运行控制线路

图 6-12 所示即为串励直流电动机可逆运行控制线路。该串励直流电动机采用的是励磁绕组反接法的反转方法，当按下起动按钮 SB1 后则接触器 KM1 获电动作，接通电源使电动机作正向运转；若需电动机反转时，则顺序按下停止按钮 SB3、起动按钮 SB2 即可。

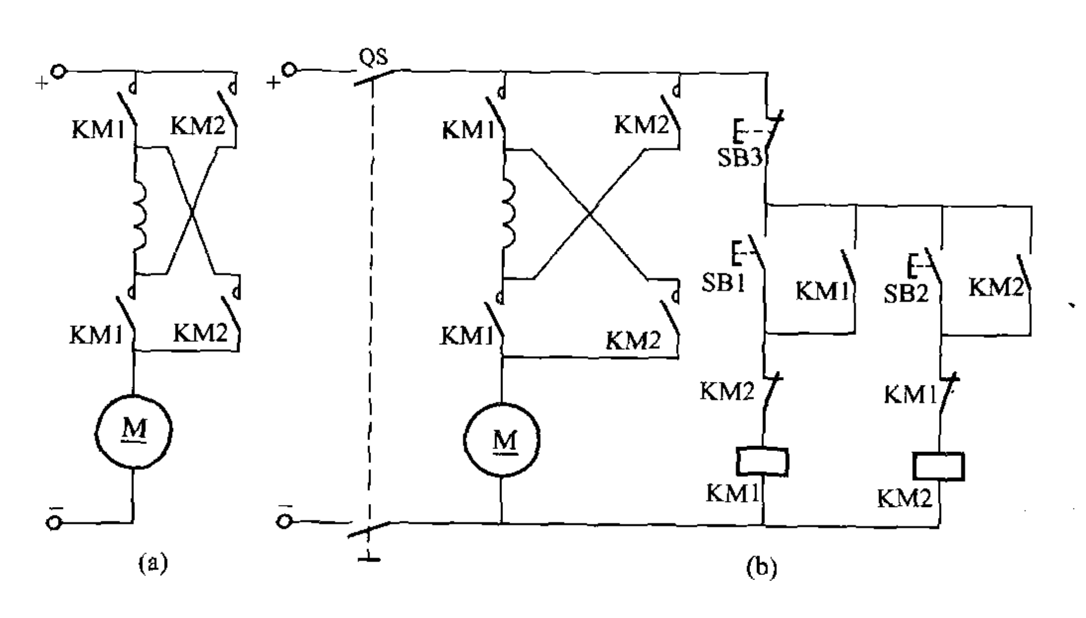


图 6-12　串励直流电动机可逆运行控制线路

(a) 原理接线图；(b) 控制线路图

例 6-13　并励直流电动机改变励磁电压极性的可逆运行控制线路

图 6-13 所示即为并励直流电动机改变励磁电压极性的可逆运行控制线路。该线路中电动机正处于正向运转位置，此时接触器 KM1、KM2 闭合，电动机得电作正向运转。若需反转时则应先停止电动机的运行，然后再起动反转电路。操作时先按下停止按钮 SB1 使电动机电枢脱离电源，同时接通时间继电器 KT，经整定的延时以后，再按下起动按钮 SB3 则电动机即作反向运转。

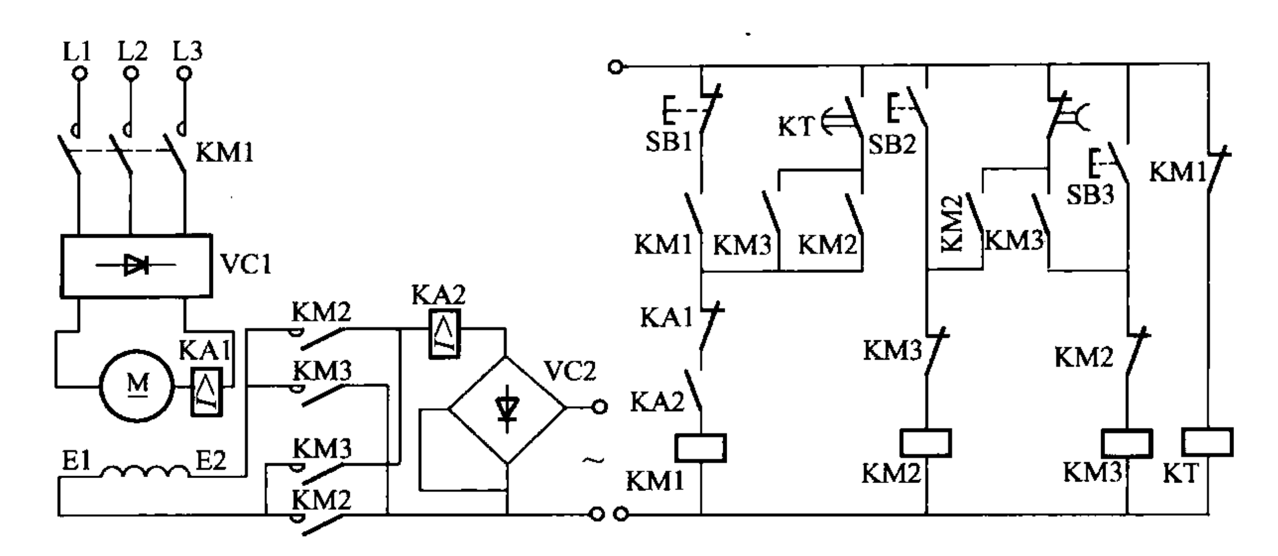


图 6-13　并励直流电动机改变励磁电压极性的可逆运行控制线路

第4节　调速控制线路

直流电动机的调速都是在机械负载不变的情况下进行的。直流电动机的电气调速主要有以下 3 种形式，即：电枢回路串电阻调速；改变励磁电流调速；改变电枢电压调速。本章选绘了直流电动机这几种调速方法电气控制线路的图例。

例 6-14　调节电枢回路电阻并励直流电动机进行调速的原理接线图

图 6-14 所示即为调节电枢回路电阻并励直流电动机调速的原理接线图。该种调速方法具有以下特点：在电压等于常值时，转速随电枢回路电阻的增加而降低，转速愈低则机械特性愈软。

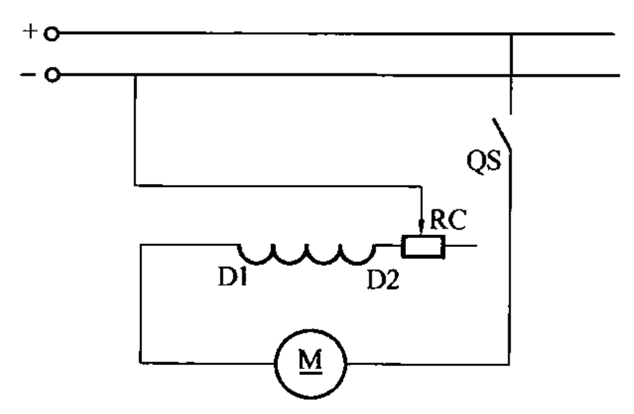


图 6-14　调节电枢回路电阻并励直流电动机进行调速的原理接线图

电枢电流保持额定值不变时，可作恒转矩调速，但低速时其输出功率随转速的降低而减小，输入功率则不变，故效率随转速而降低。该种调速控制线路适于额定转速以下，不需经常调速且机械特性较软的调速情况。

例 6-15 并励直流电动机调节励磁电流进行调速的控制线路

图 6-15 所示即为并励直流电动机调节励磁电流进行调速的控制线路。该线路中为限制起动电流，在电枢回路串入了起动电阻 R，起动过程结束后则由接触器 KM3 切除，并且该电阻还在电动机制动过程中作限流电阻用。并励绕组则串入了调速电阻器 RC 以实现电动机的调速。

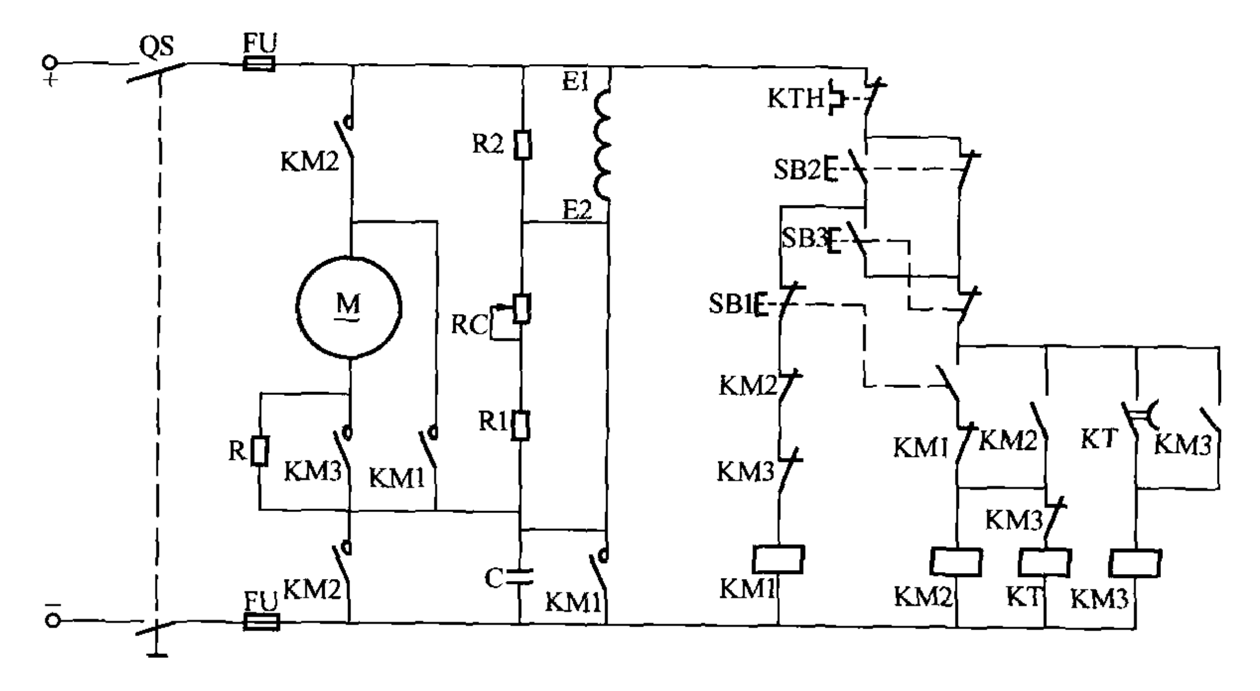


图 6-15 并励直流电动机调节励磁电流进行调速的控制线路

例 6-16 并励直流电动机起动与调速控制线路

图 6-16 所示即为并励直流电动机起动与调速控制线路。该线路是在电动机电枢回路中串电阻来进行起动和调速的。起动电阻分为两级，采用两只时间继电器 KT1、KT2 作两级自动起动，并由主令控制器来实现起动、调速及停车控制。起动前须将主令开关 SA 的手柄放在零位，分别合上主、控电路的断路器。起动

时可将 SA 由零位扳到位置 3，接触器、时间继电器依次动作以完成起动过程。如要使电动机运行于低转速段时，只须将 SA 扳到“1”或“2”即可。

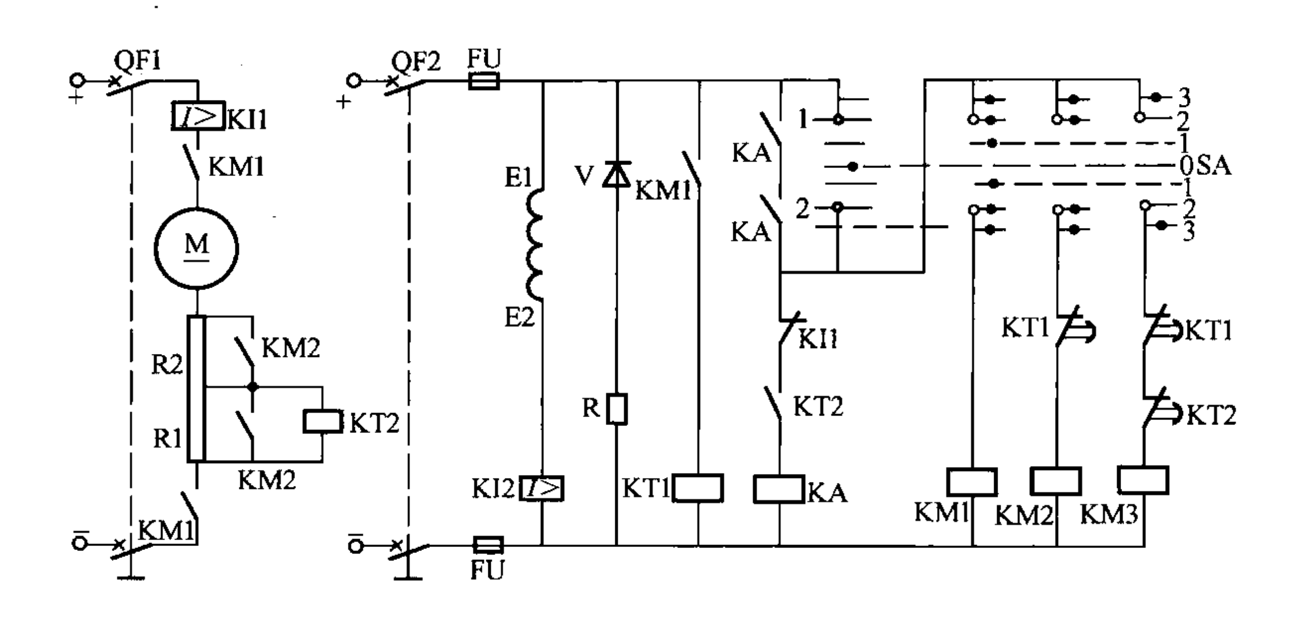


图 6-16　并励直流电动机起动与调速控制线路

例 6-17　并励直流电动机改变励磁电流进行调速的控制线路

图 6-17 所示即为并励直流电动机改变励磁电流进行调速的

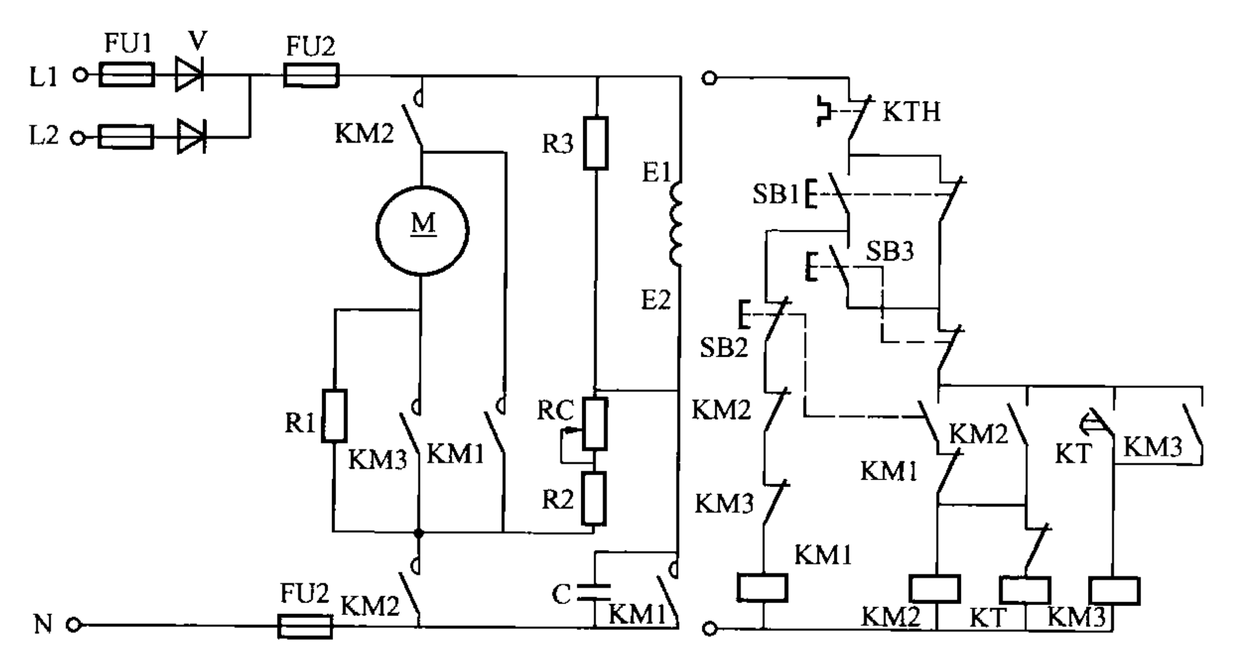


图 6-17　并励直流电动机改变励磁电流进行调速的控制线路

控制线路。该线路仍采用起动时在电动机电枢回路中串入电阻的起动方法，转速调节则应用改变励磁电流的方式，电动机的直流电源采用两相零式整流电路。电枢回路中的起动电阻 R 以限制起动电流，起动结束后由接触器 KM3 切除。按下起动按钮 SB2 则接触器 KM2 接通主电路，电动机经起动后进入正常运行，调节电阻 RC 即可调节转速，停机即按按钮 SB1。

例 6-18　直流发电机—电动机拖动系统控制线路

图 6-18 所示即为直流发电机—电动机拖动系统控制线路。该线路利用改变直流发电机励磁电流的方向，来控制直流电动机的旋转方向。当按下起动按钮 SB1 或 SB2 时，接触器 KM1 或 KM2 通电动作并接通发电磁场，其辅助触点使能耗制动接触器 KM3 和线路接触器 KM4 得电动作，从而断开能耗制动电路及接通电动机主电路以使电动机起动。时间继电器 KT 控制励磁调节接触器 KM5，用以调节电阻 RC 的数值来进行速度调节。

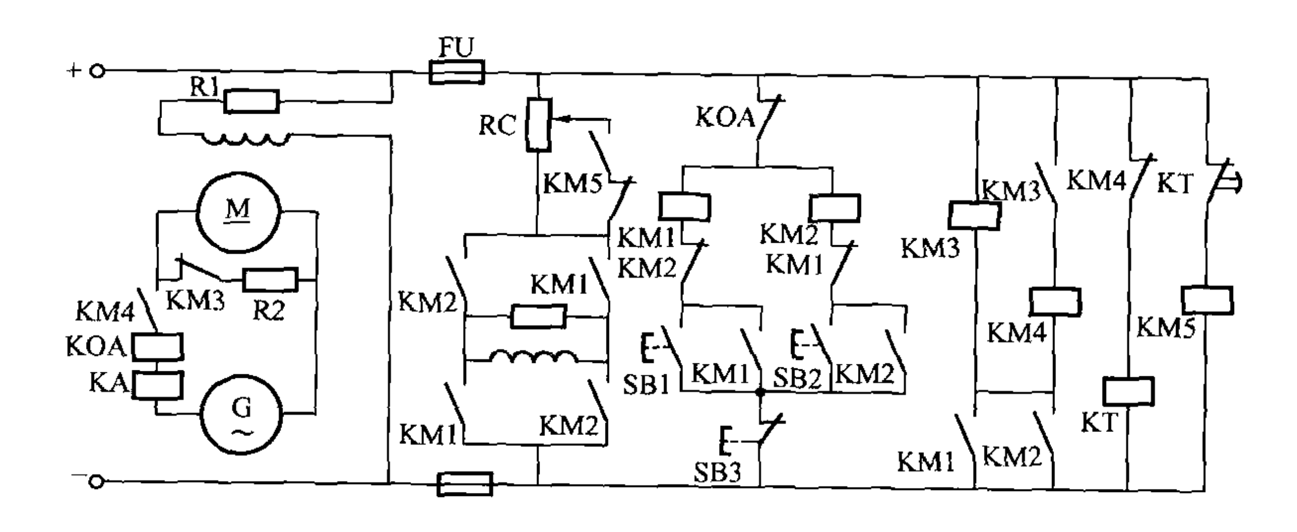


图 6-18　直流发电机—电动机拖动系统控制线路

例 6-19　G-M 拖动系统控制线路

图 6-19 所示即为 G-M 拖动系统控制线路。该系统由交流异步电动机、直流发电机、直流电动机及励磁机组成。线路中的 M3 是他励直流电动机，用来直接拖动生产机械；G 为他励直流

发电机，以它为直流电动机 M 提供电枢电压；GE则为并励直流发电机，它为 G、M 提供励磁电流，同时也为控制电路提供电源；三相异步电动机则用来拖动同轴连接的 GE、G 两台直流发电机。此系统具有调速范围广、能实现起动、制动和可逆运行等。

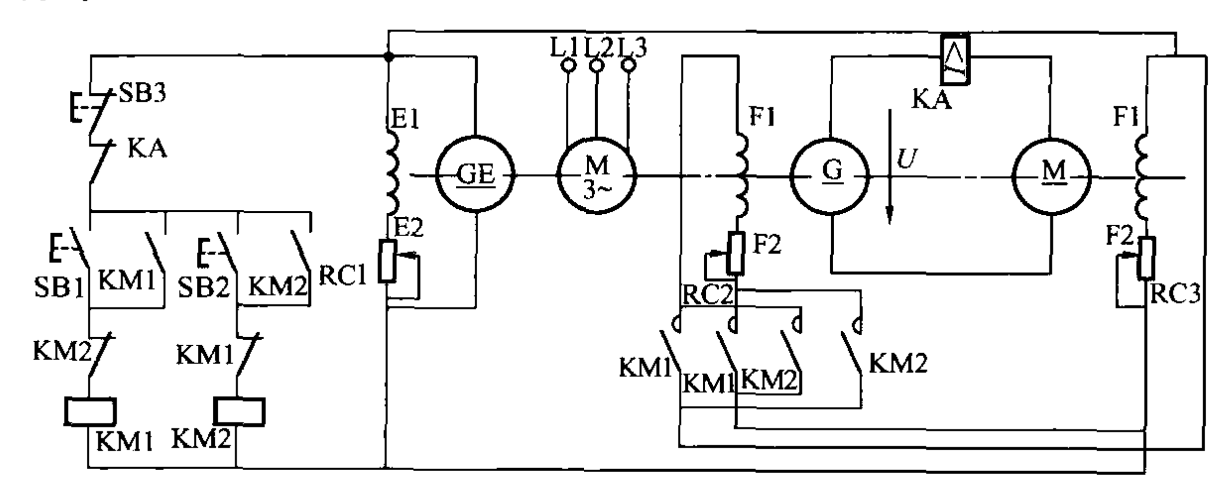


图 6-19　G-M 拖动系统控制线路

例 6-20　晶闸管—直流电动机自动调速系统控制线路

图 6-20 所示即为晶闸管—直流电动机自动调速系统控制线路。该线路由单相桥式整流器 VC1 供给可调给定电压 U_8 值，测速发电机 TG 和直流电动机 M 同轴连接，组成转速负反馈环节；三极管 V1、电阻 R7、R8 组成放大器；三极管 V2、电阻 R9、R10、R11 和电容 C9、C10 及单结晶体管 VS 共同组成脉冲发生器；整流器 VC2 则提供直流电源；单相半控桥（V12、V13、V9、V10）；平板电抗器 L 及直流电动机 M 组成主电路；它则受脉冲发生器的控制。

例 6-21　采用比例调节器的晶闸管自动调速原理图

图 6-21 所示即为采用比例调节器的晶闸管自动调速原理图。由于采用比例调节器对几个共地的输入信号进行组合，实现了几个输入信号共地并联接入，从而避免了信号串联输入不能有公共接地端，易引进干扰的缺点。

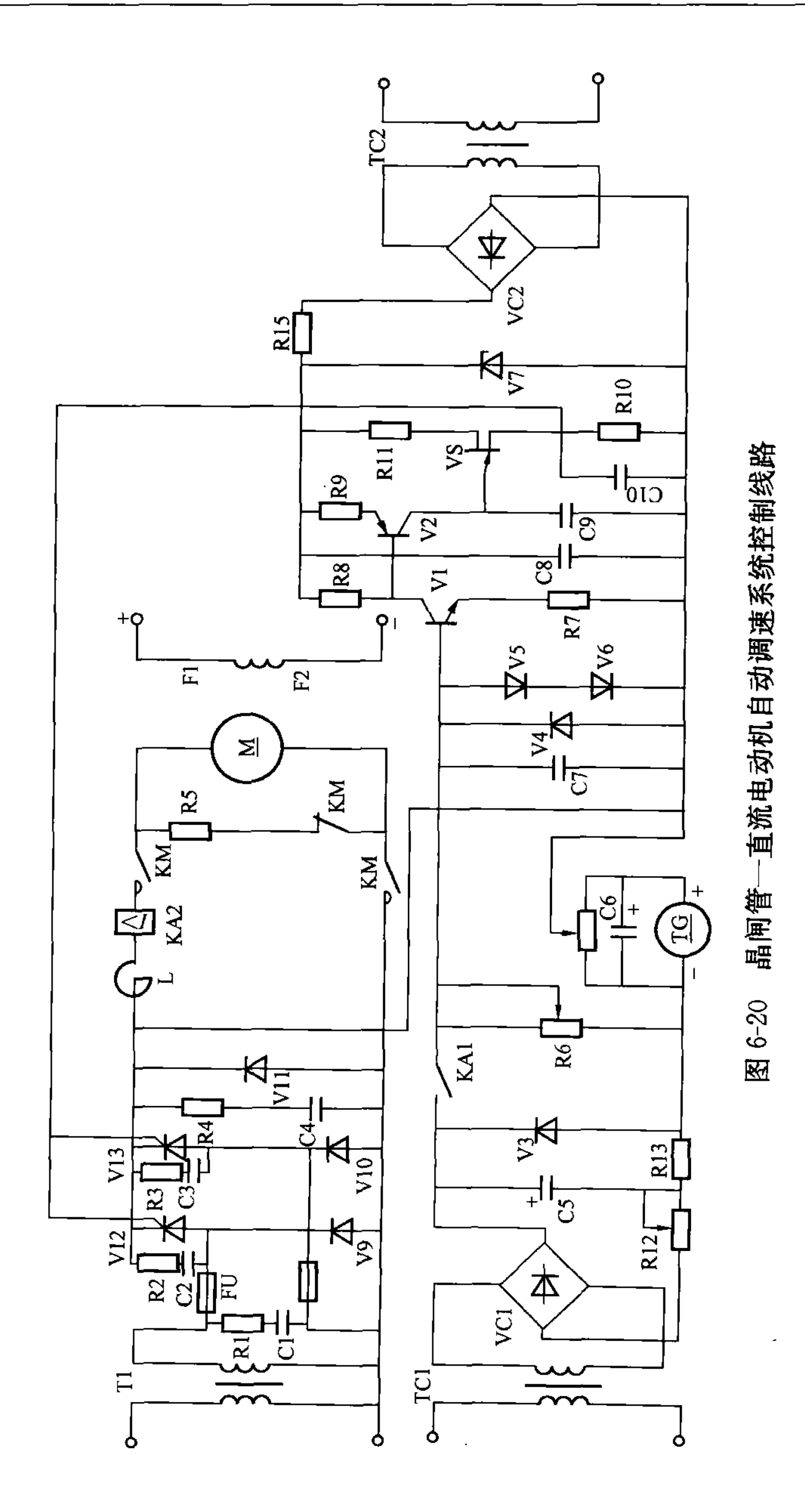


图6-20 晶闸管—直流电动机自动调速系统控制线路

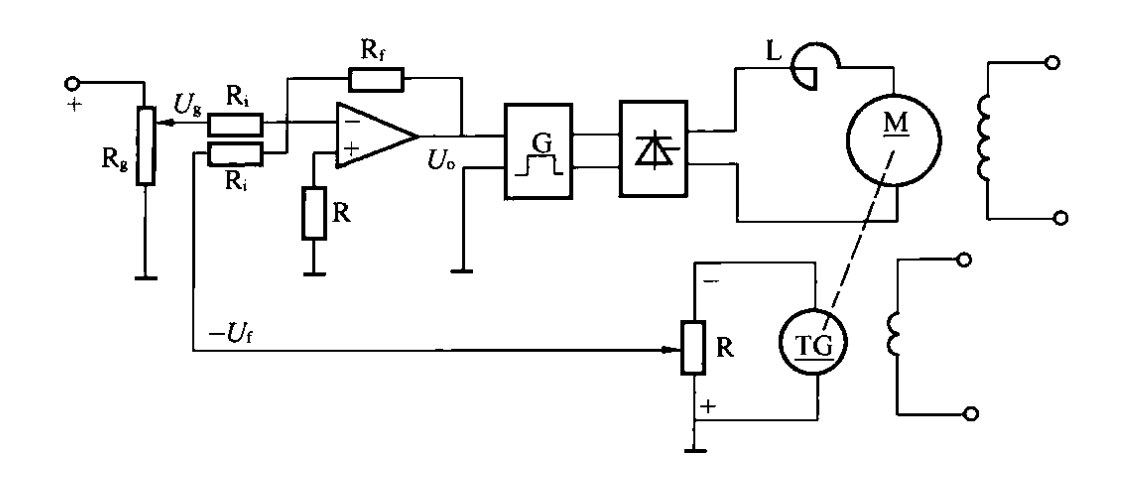


图 6-21　采用比例调节器的晶闸管自动调速原理图

例 6-22　具有电压负反馈的晶闸管自动调速原理图

图 6-22 所示即为具有电压负反馈的晶闸管自动调速原理图。电压负反馈系统的被调量是电动机的端电压 U_d，因而它只能维持电枢电压 U_a 接近不变，所以当负载增加时，因负载电流引起的电枢压降未得到补偿，故调节性能稍差。

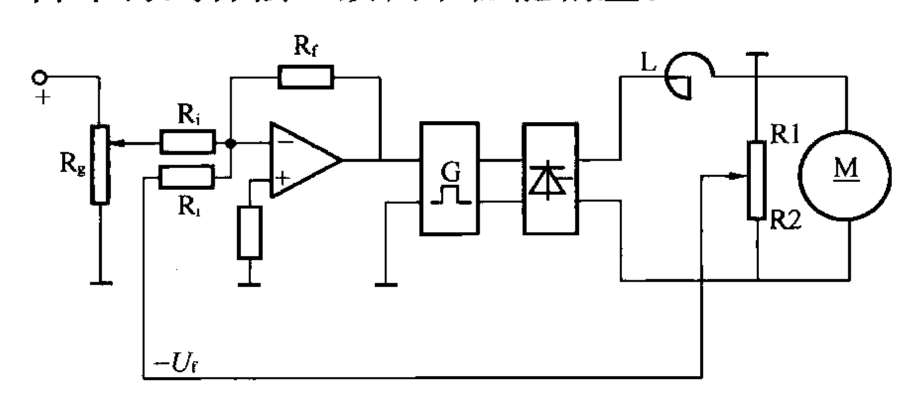


图 6-22　具有电压负反馈的晶闸管自动调速原理图

例 6-23　具有电压负反馈及电流正反馈的自动调速原理图

图 6-23 所示即为具有电压负反馈及电流正反馈的自动调速原理图。由于电压负反馈系统的转速降落较大，是因为电动机电枢电阻压降所引起的转速降落未得到补偿。因此，为了补偿电枢电阻压降，就在电压负反馈的基础上增加了一个电流正反馈环节，这样就构成了本图所具有的电压负反馈及电流正反馈的自动调速线路，使得调速性能有较大提升。

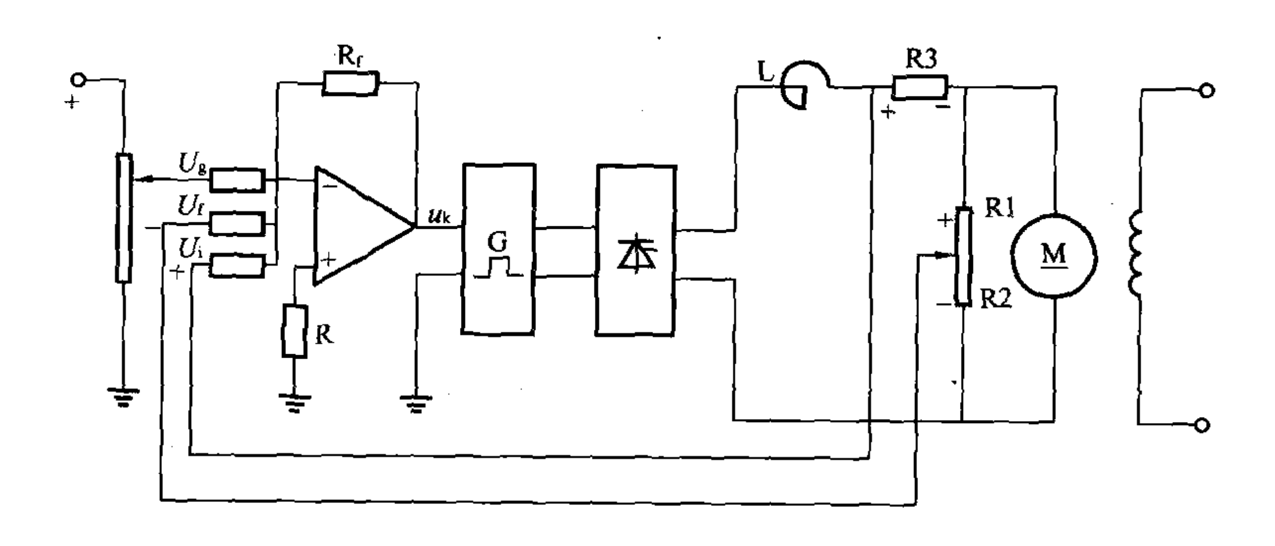


图 6-23 具有电压负反馈及电流正反馈的自动调速原理图

例 6-24 具有转速负反馈和电流截止负反馈的调速系统原理图

图 6-24 所示即为具有转速负反馈和电流截止负反馈的调速系统原理图。因为在转速负反馈系统中，直流电动机的起动电流将会特别大，这种过大的冲击电流对电动机的换向十分不利，更容易造成晶闸管的损坏。因此，采用电流截止负反馈就能将起动电流加以限制，以确保直流电动机、晶闸管的安全运行。

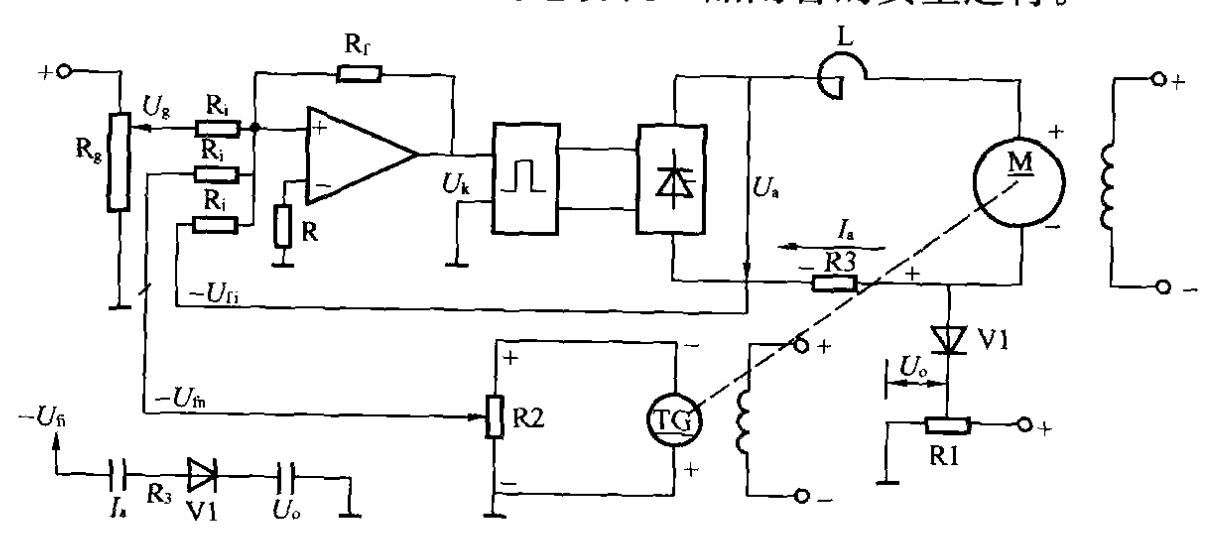


图 6-24 具有转速负反馈和电流截止负反馈的调速系统原理图

例 6-25 调节励磁电流并励直流电动机进行调速的原理图

图 6-25 所有即为调节励磁电流并励直流电动机进行调速的原理图。该调速方法具有以下特点：在电压等于常值时，其转速

随励磁电流和磁通的减小而升高。而电动机的最高转速则受机械因数、换向和运行稳定性的限制。当电枢电流保持额定值不变时，其输入、输出功率及效率基本不变。这种调节励磁电流进行转速调节的方法，主要适用于电动机额定转速以上的恒功率调节。

例 6-26　调节励磁电压他励直流电动机进行调速的原理图

图 6-26 所示即为调节励磁电压他励直流电动机的原理图。该调速方法具有以下特点：在磁通等于常值时，转速随电枢端电压的减少而降低，最低转速受发电机的剩磁限制。当电枢电流保持额定值不变时，其输入、输出功率随电压和转速的降低而减小，效率则基本不变。该调速方法适用于额定转速以下的恒转矩调速。

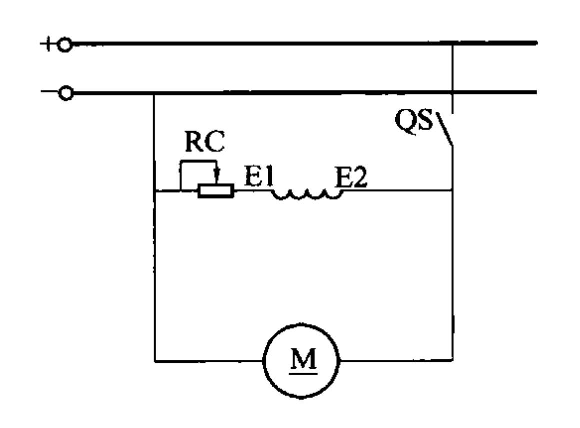


图 6-25　调节励磁电流并励直流电动机进行调速的原理图

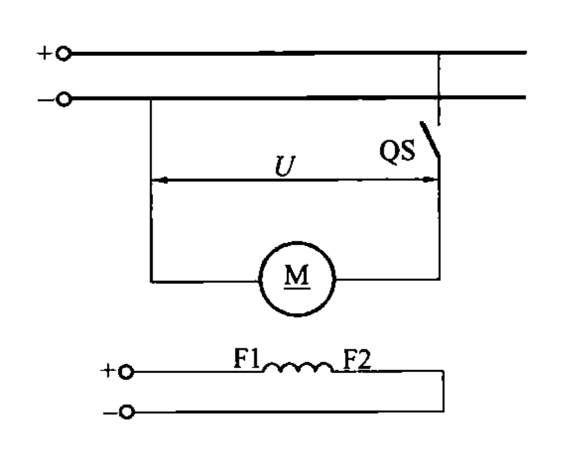


图 6-26　调节励磁电压他励直流电动机进行调速的原理图

第 5 节　制 动 控 制 线 路

直流电动机的制动与异步电动机基本相似，制动方法也有机械制动和电气制动两大类。机械制动就是采用电磁抱闸制动，电气制动常采用能耗制动和反接制动。下面主要选绘了电气制动中这两种制动方式的部分控制线路。

例 6-27　直流电动机能耗制动的原理接线电气线路

图 6-27 所示即为直流电动机能耗制动的原理接线电气线路。

该制动方式为：保持励磁不变而将电枢回路从电源切断，接入制动电阻并使电柜电枢电流反向，电磁转矩与电动机转向相反。制动时电动机将作发电机运行，以向制动电阻供电，此时机组的惯性动能转化为制动电阻与机组本身的损耗。其转速愈低则制动效果愈差，有时还配合机械制动来加强整体制动效果。该线路适用于机械装置的制动控制。

例 6-28　直流电动机反接制动原理接线电气线路

图 6-28 所示即为直流电动机反接制动原理接线电气线路。该制动方式为：保持励磁不变，电枢回路与电源经限流电阻作反极性串联，使电枢电流反向，因而电磁转矩与电动机转向相反。

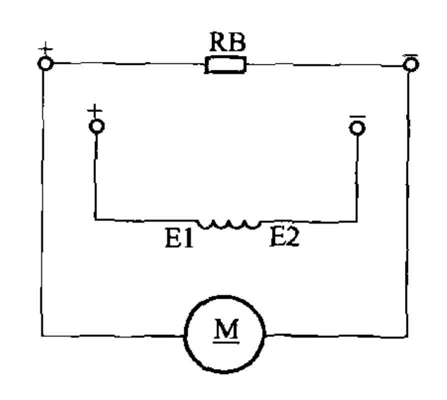


图 6-27　直流电动机能耗制动的原理接线电气线路

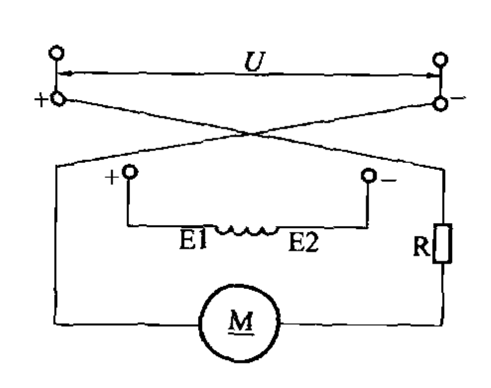


图 6-28　直流电动机反接制动原理接线电气线路

例 6-29　串励直流电动机自励能耗制动原理图

图 6-29 所示即为串励直流电动机自励能耗制动原理图。制动时，电动机的电枢和串励绕组在脱离电源后应同时接至一个制动电阻上，即利用电动机剩磁使其成为串励发电机，从而产生制动转矩。进行制动操作时，必须将电枢绕组或励磁绕组的首、尾端调换一下，以使励磁绕组电流方向不变，电动机才能自励。

例 6-30　串励直流电动机他励能耗制动原理图

图 6-30 所示即为串励直流电动机他励能耗制动原理图。为了适应串励绕组电阻很小的情况，应特设一组与其相匹配的低电

压电源。如果与电枢绕组共用电源时，则须在串励绕组回路串入较大的降压电阻 R。串励直流电动机他励能耗制动可以得到较好的制动效果。

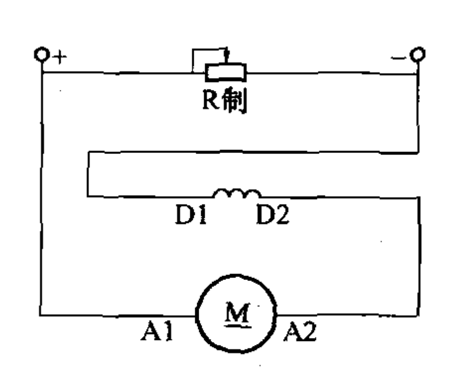


图 6-29　串励直流电动机自励能耗制动原理图

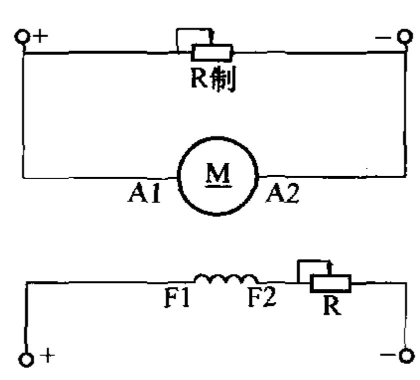


图 6-30　串励直流电动机他励能耗制动原理图

例 6-31　直流电动机回馈制动原理接线电气线路

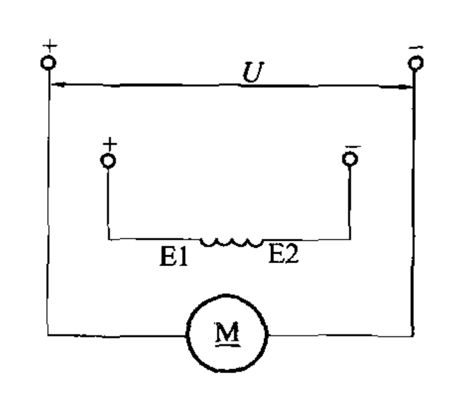


图 6-31　直流电动机回馈制动原理接线电气线路

图 6-31 所示即为直流电动机回馈制动原理接线电气线路。该制动方式为：在保持励磁不变而转速升高到一定程度时，电枢电流反向而所产生的电磁转矩与电动机转向相反。制动时电动机作发电机运行，使电机加速的位能转化为电能向电网回馈。因而在制动过程中不消耗电网能量，还可回收制动所产生的电能。该种制动方法只能用于限制电动机转速过分升高，如升降机的快速下降等。

例 6-32　串励直流电动机自励能耗制动控制线路

图 6-32 所示即为串励直流电动机能耗制动控制线路。该线路就是让电动机从电动机工作状态变为发电机状态，以产生与转速反方向的制动转矩。自励式能耗制动设备简单，高速时其制动效果良好，但在低速时则制动较慢，故只适于准确停车处理。

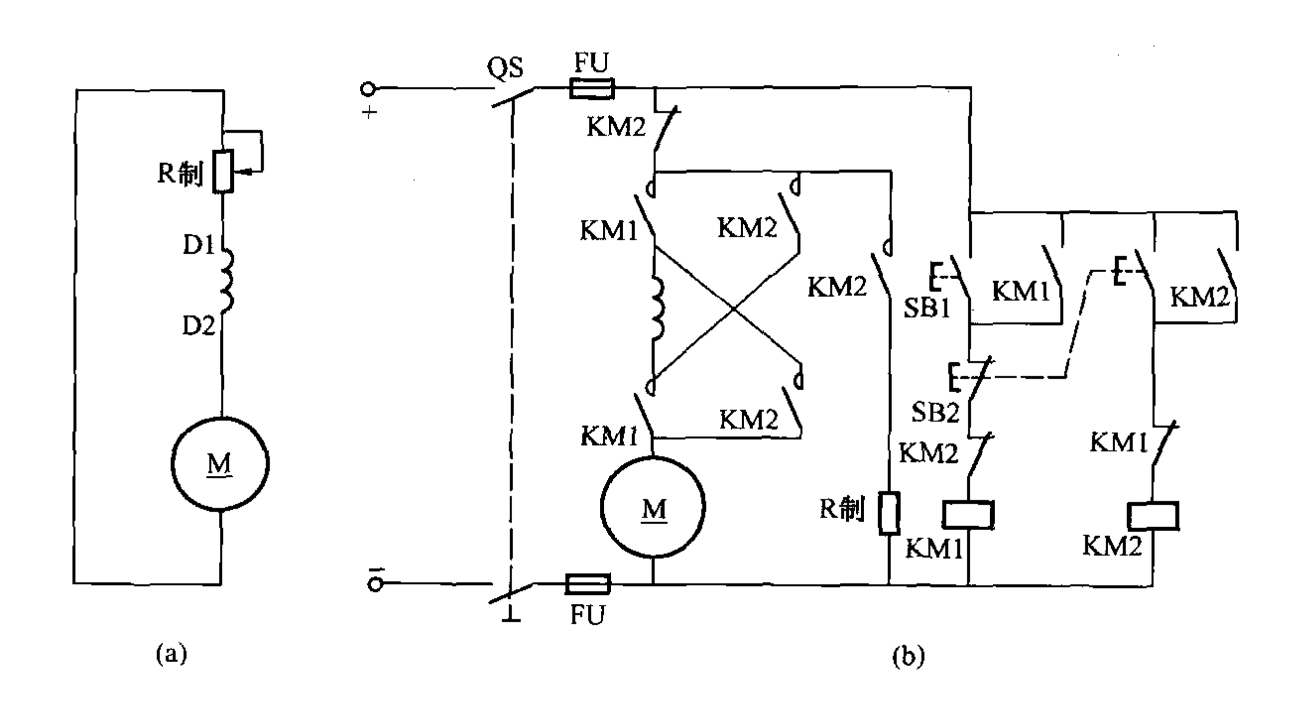


图 6-32　串励直流电动机自励能耗制动控制线路

（a）原理接线图；（b）控制线路图

例 6-33　小型串励直流电动机能耗制动控制线路

图 6-33 所示即为小型直流电动机能耗制动控制线路。该线路由按钮控制接触器进行控制。松开按钮时，电动机停止运转，接触器的常闭触点闭合，即接通能耗制动电阻 R1、R2 进行能耗制动。如要制动转矩大一些则可减小 R1 或 R2 的数值，若要防

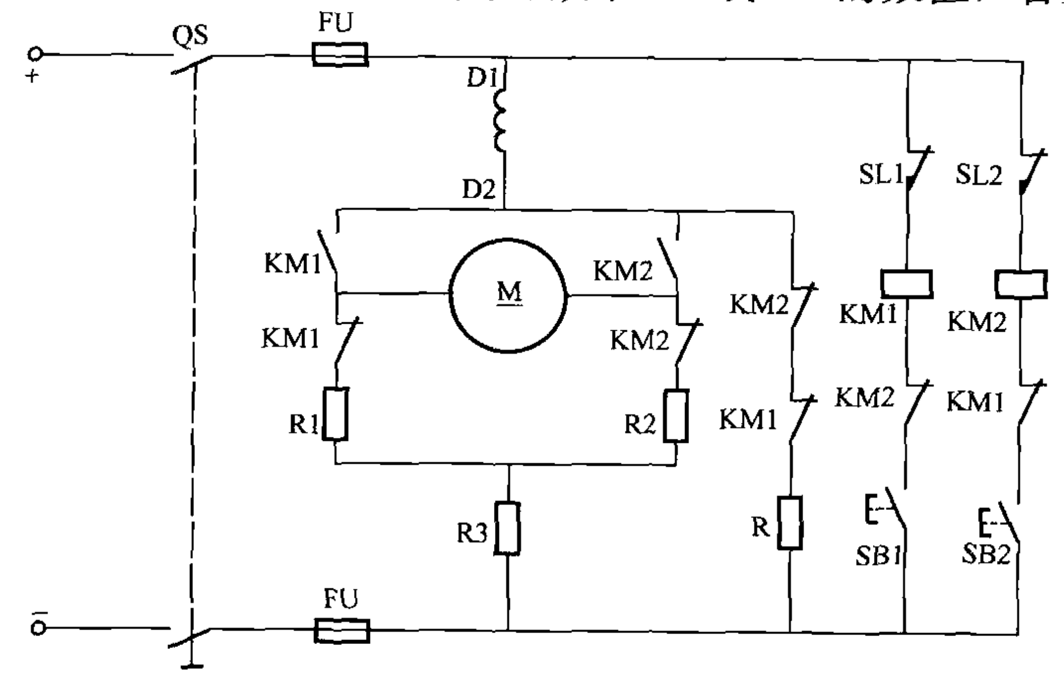


图 6-33　小型串励直流电动机能耗制动控制线路

止电流过大则可将电阻 R3 的数值加大。线路中的 SL1、SL2 为限位开关，R 为电枢的限流电阻。

例 6-34　并励直流电动机能耗制动控制线路

图 6-34 所示即为并励直流电动机能耗制动控制线路。该线路起动时按下起动按钮 SB1，接触器 KM1 得电接通主电源，电动机获电运转。停止时则按下停止按钮 SB2、接触器 KM1 失电而 KM2 得电，电动机的电枢切除电源，并接上制动电阻 R，此时励磁绕组仍接在电源上继续通电，这样电枢在惯性作用下变为发电机运行状态，从而产生制动力矩并进行制动。

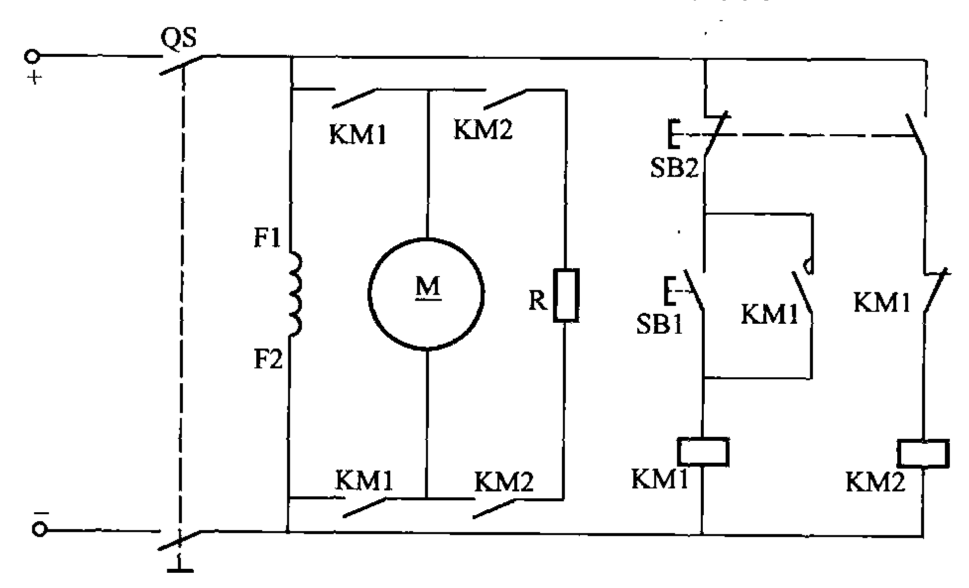


图 6-34　并励直流电动机能耗制动控制线路

例 6-35　他励直流电动机能耗制动自动控制线路

图 6-35 所示即为他励直流电动机能耗制动自动控制线路。该线路采用速度控制原则利用一级起动电阻 R1，依靠接触器 KM1、KM2、KM3 和电压继电器 KV 进行对电动机的起动、制动控制。起动时先合上电源开关 QS，按下起动按钮 SB1，接触器 KM1 接通电源，电枢串接入起动电阻 R 起动，以后电阻 R 自动切除。按下停止按钮 SB2 即自动进行制动。

例 6-36　并励直流电动机能耗制动自动控制线路

图 6-36 所示即为并励直流电动机能耗制动自动控制线路。

该线路由时间继电器 KT1、KT2 进行起动、制动控制，由于能耗制动工作过程较为平稳，因而应用比较广泛。

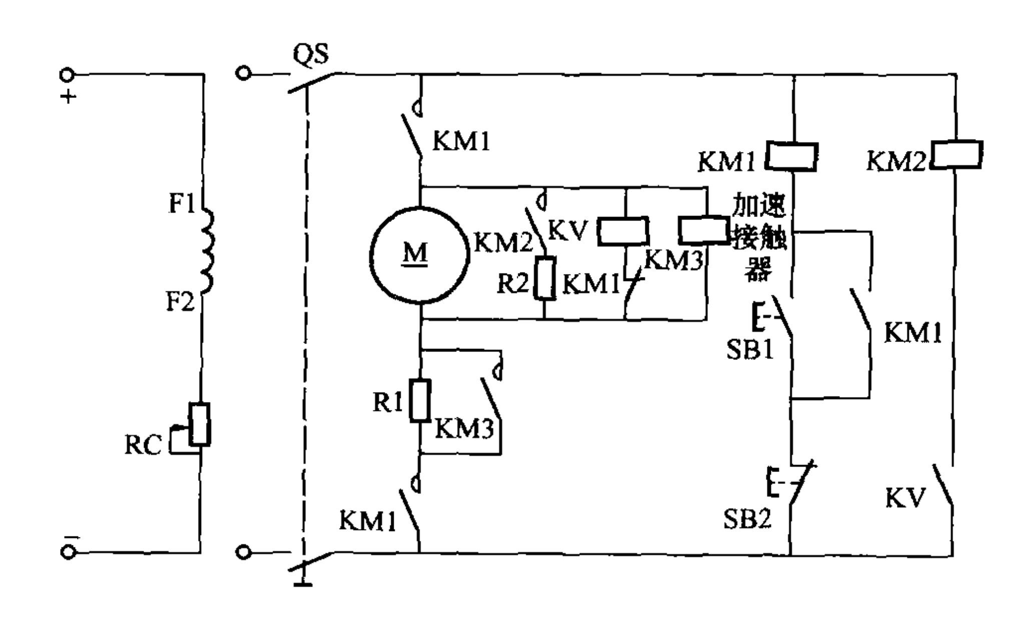


图 6-35　他励直流电动机能耗制动自动控制线路

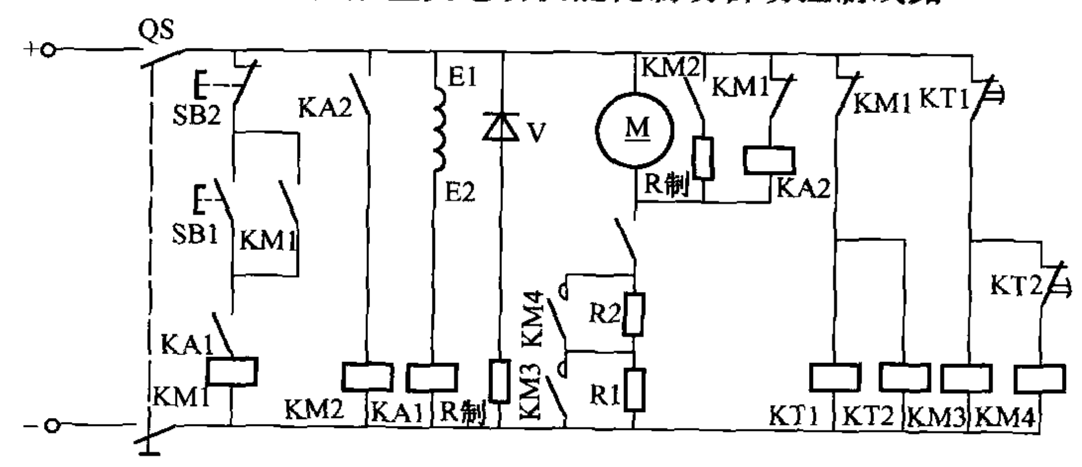


图 6-36　并励直流电动机能耗制动自动控制线路

例 6-37　并励直流电动机可逆运行和制动控制线路

图 6-37 所示即为并励直流电动机可逆运行和制动控制线路。起动时先合上电源开关 QS，励磁绕组获电并开始励磁，时间继电器 KT1、KT2 也得电动作，接触器 KM6、KM7 处于分断状态。按下起动按钮 SB1 则接触器 KM1 获电动作，使电阻 R1、R2 串接入进行两级起动。这时，因时间继电器 KT1、KT2 断电并延时闭合，使接触器 KM6、KM7 逐级动作，先后切除电阻 R1、R2 电动机即进入正常的运行。

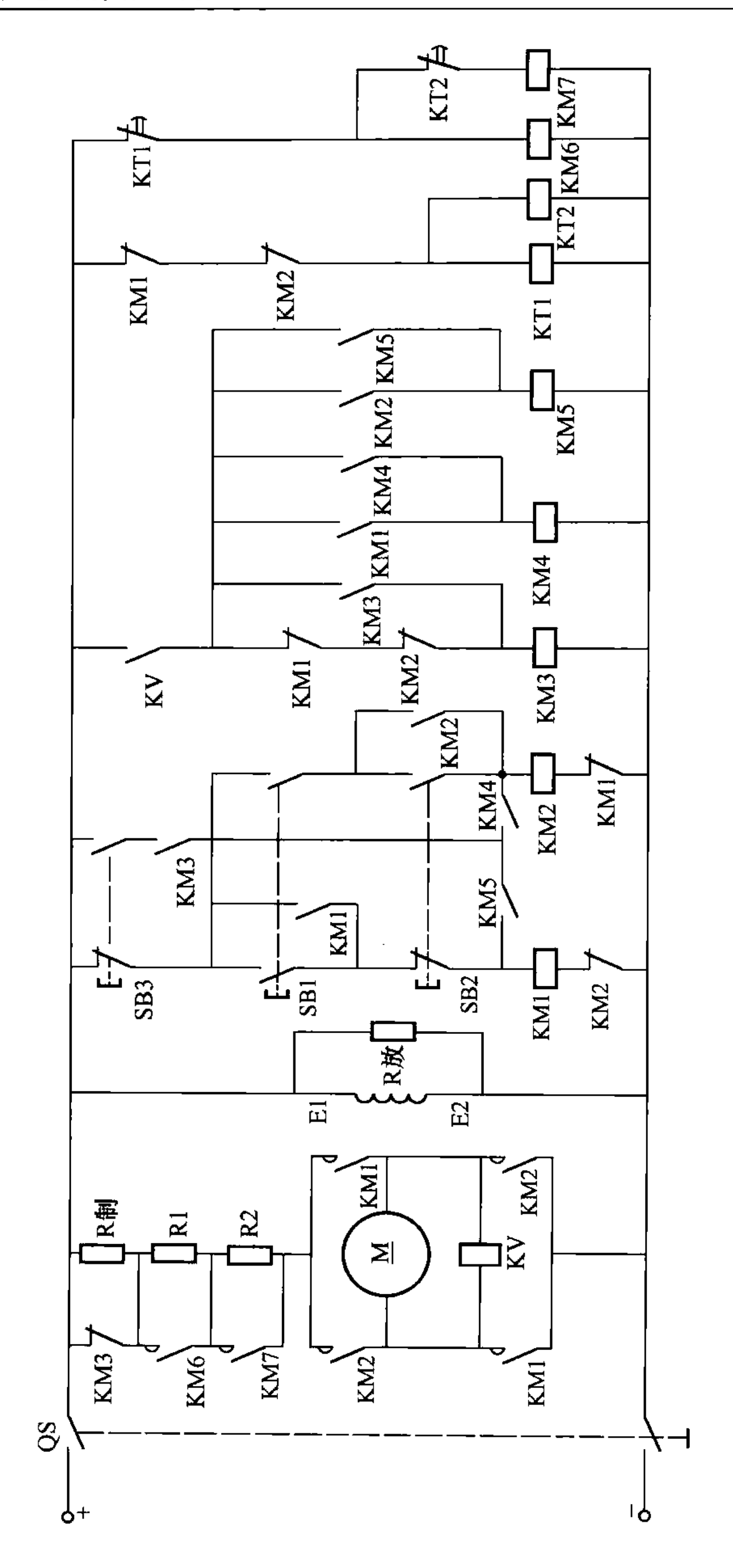


图 6-37　并励直流电动机可逆运行和制动控制线路

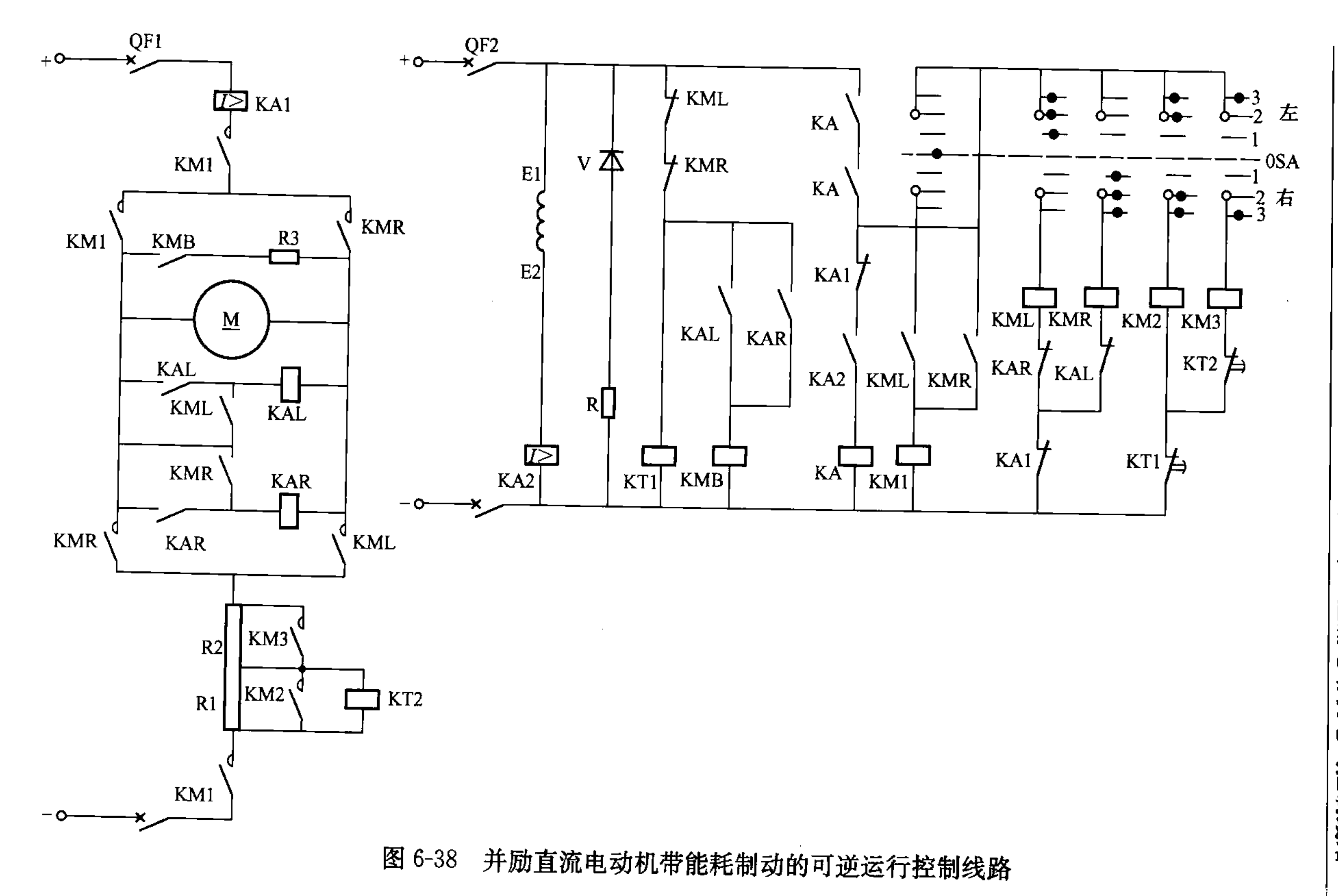


图6-38　并励直流电动机带能耗制动的可逆运行控制线路

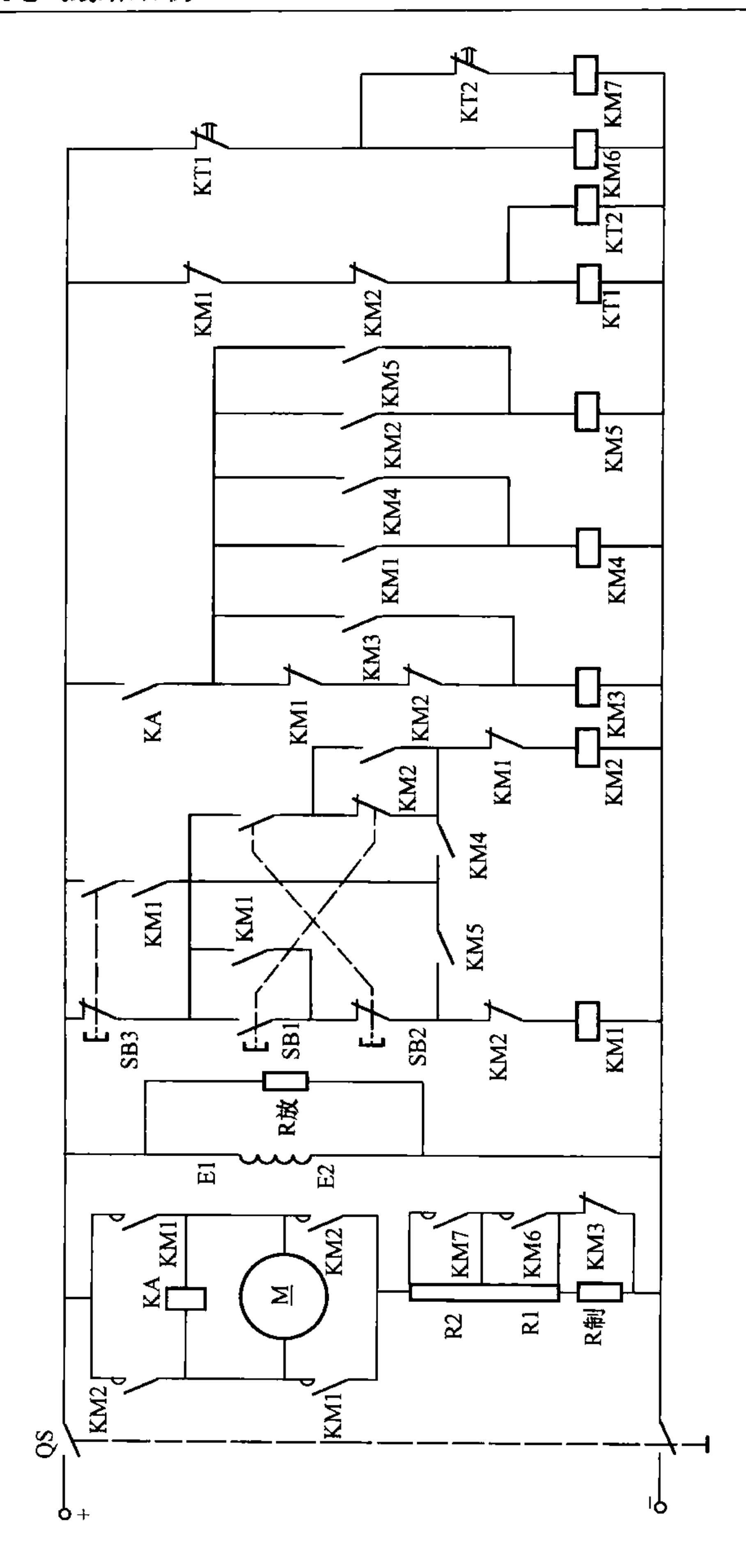


图 6-39 并励直流电动机反接制动控制线路

例 6-38　并励直流电动机带能耗制动的可逆运行控制线路

图 6-38 所示即为并励直流电动机带能耗制动的可逆运行控制线路。该线路利用改变电枢电压极性来进行反向运转。线路中包括有两极起动电阻 R1、R2，起动电阻同时还作电动机调速用。电动机的正、反转采用主令控制器 SA 进行控制，手柄向左为正转位置，向右则为反转位置，手柄扳到停止位置，即进行能耗制动。

例 6-39　并励直流电动机反接制动控制线路

图 6-39 所示即为并励直流电动机反接制动控制线路。该线路中的“R 制”为反接制动电阻，R 则为停止运行时励磁绕组的放电电阻。起动时先合上电源开关 QS，励磁绕组得电开始励磁，时间继电器 KT1、KT2 得电吸合，电路处于准备工作状态。按下正向按钮 SB2 则接触器、时间继电器得电依次动作，并自动完成起动过程。停止运行时，按下停止按钮 SB3 即可。

例 6-40　串励直流电动机带反接制动的自动控制线路

图 6-40 所示即为串励直流电动机带反接制动的控制线路。

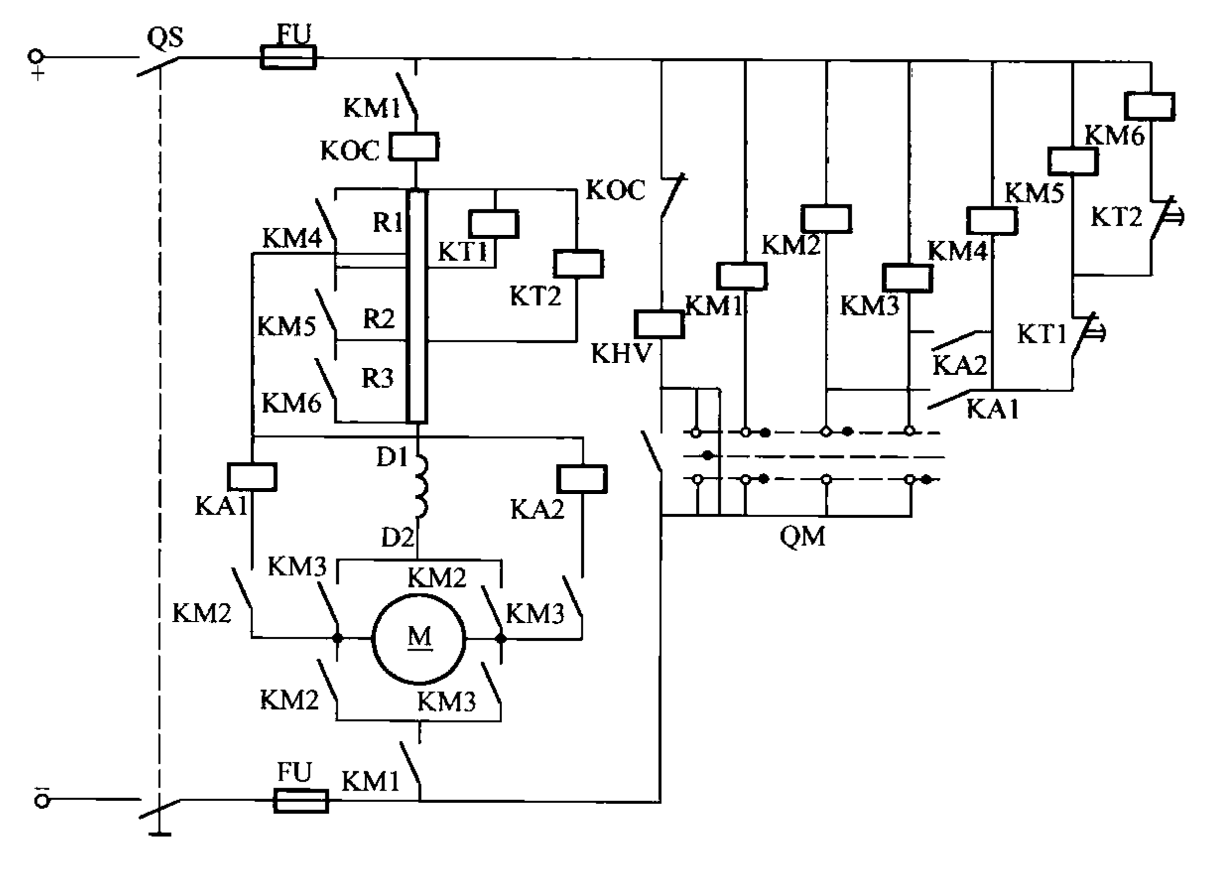
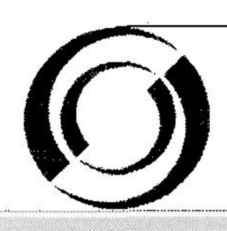


图 6-40　串励直流电动机带反接制动的自动控制线路

该线路采用主令控制器来控制电动机的正、反转，用时间继电器去自动切除起动电阻。反接制动时可用转速反向或电枢直接反向的方法，这时电枢电路应串接入限流电阻，反接电源则不产生制动转矩。



第 7 章

常用机床及起重机械电气控制线路

Chapter 7

机床、起重机械电气控制线路是由各种电动机控制电路组成，它根据机床、起重机械的种类、工作性质、加工精细程度的不同，其控制线路也就有简单和复杂之分。它们的电气控制不仅要求实现起动、制动、可逆和调速等，而且还要满足生产工艺的各种要求，因此其控制线路一般均比较完整和全面。

第 1 节　常用机床电气控制线路

机床的电气控制线路不论怎样复杂，它都是由许多最简单、最基本的电动机控制电路，通过不同的方式组合而成的。只要我们熟悉了电动机这些基本电路，就能全面理解和掌握各类机床电气控制线路。

例 7-1　C620-1 普通车床电气控制线路

图 7-1 所示即为 C620-1 普通车床电气控制线路。该线路中三相电源 L1、L2、L3 经过电源总开关 QS1 后接通机床总电源。KM 为接通主轴电动机 M1 电源的接触器，KTH1 为主轴电动机的过载保护。冷却泵电动机 M2 由手动开关 QS 控制，KTH2 为 M2 的过载保护，FU3 为它的短路保护。冷却泵电动机 M2 只有在主轴电动机 M1 起动后，它才能够起动。

例 7-2　C630 车床电气控制线路

图 7-2 所示即为 C630 车床电气控制线路。该机床的主电路有两台电动机，主轴电动机 M1 拖动车床主轴旋转，采用直接起动，因系空载起动电流冲击不大。电动机 M2 为冷却泵电动机，

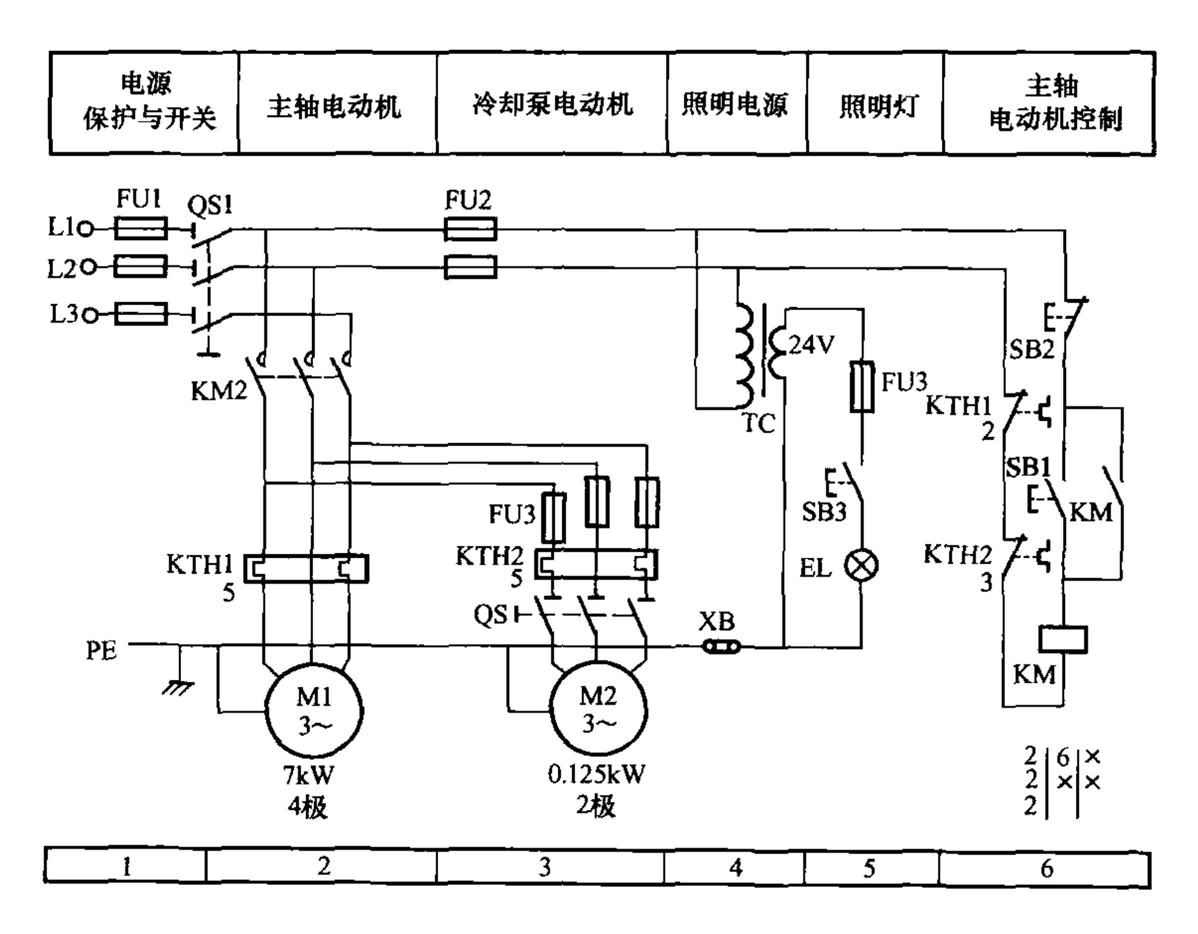


图 7-1　C620-1 普通车床电气控制线路

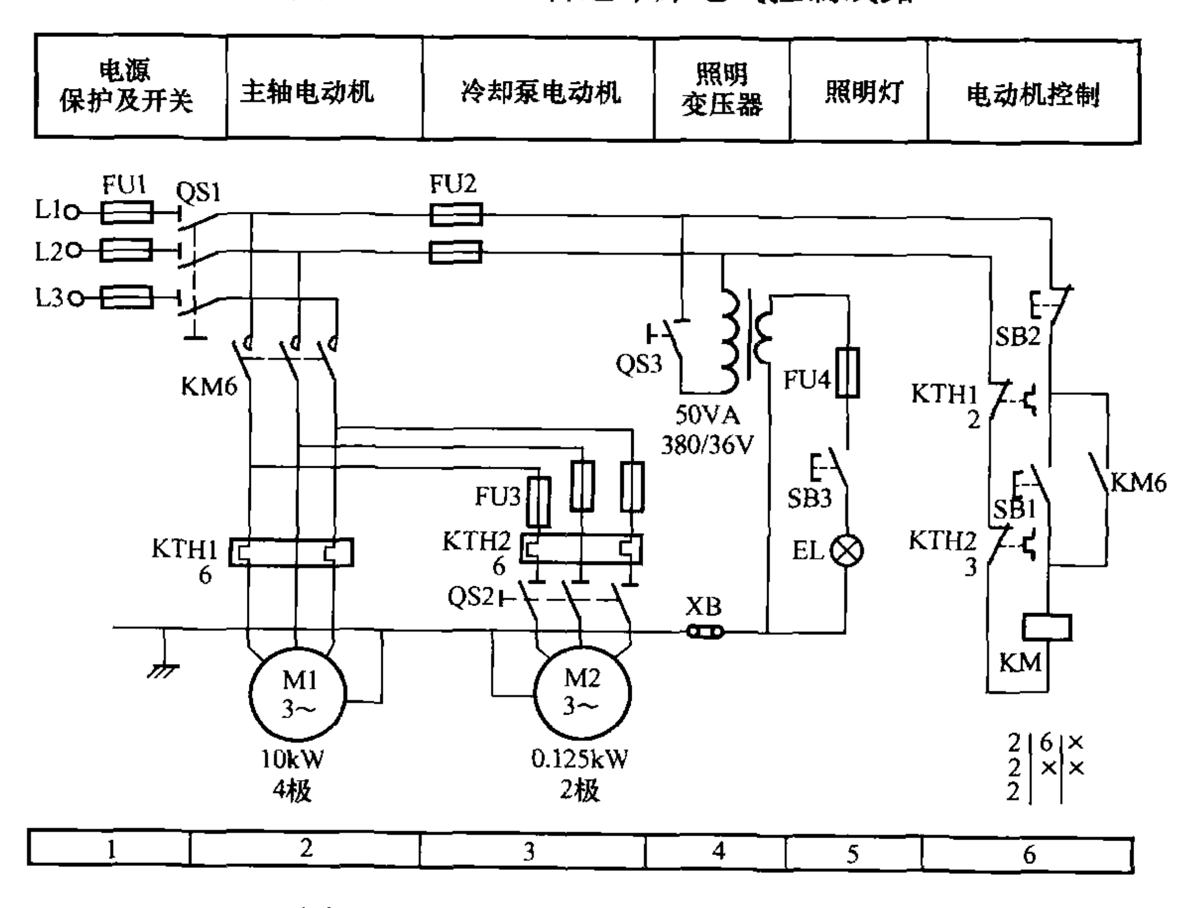


图 7-2　C630 普通车床电气控制线路

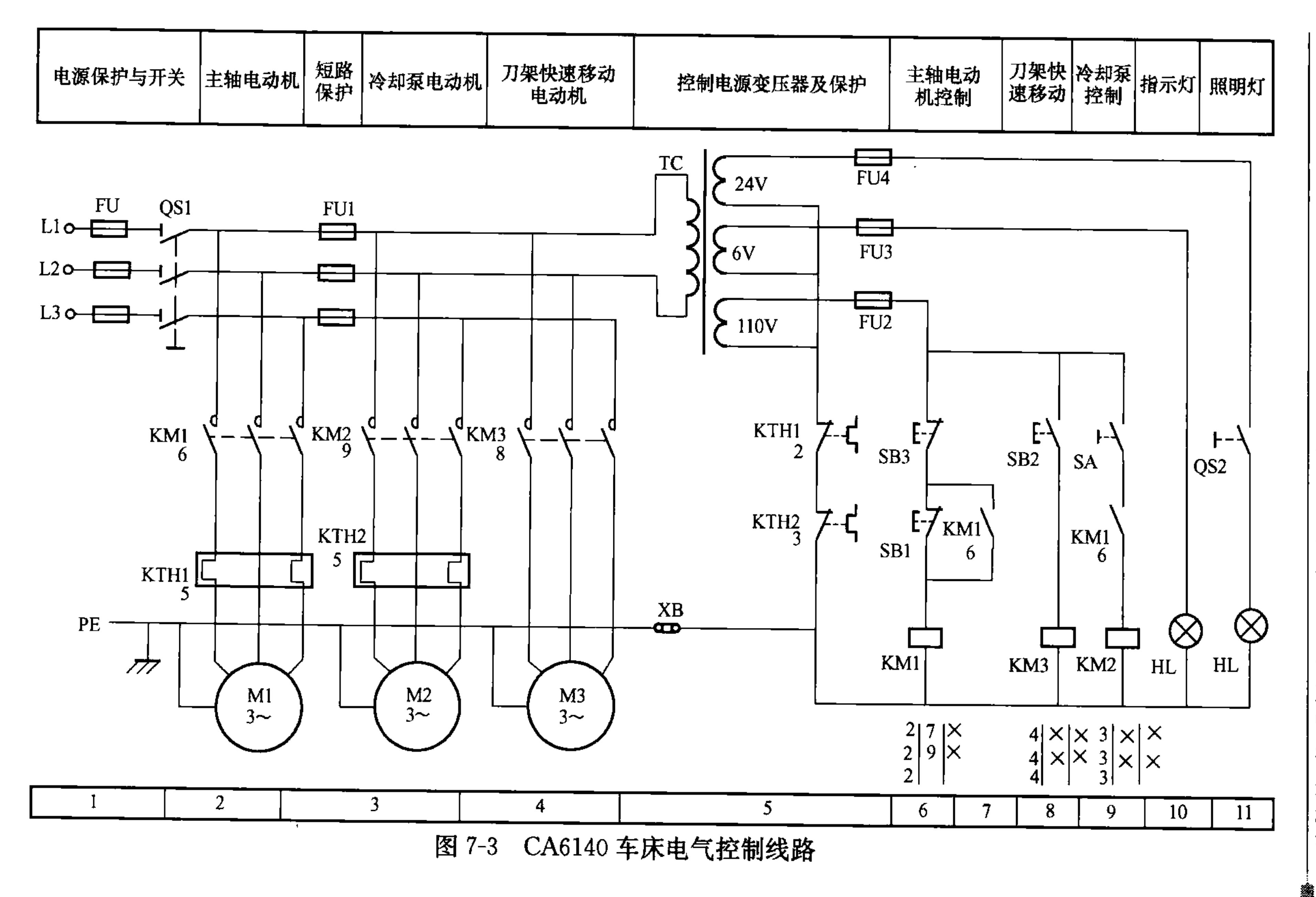


图 7-3　CA6140 车床电气控制线路

用手动轴换开关QS控制其起动与停止。熔断器FU3为M2作短路保护，热继电器KTH2作过载保护。M1则只有KTH1作过载保护，短路保护交由上一级车间配电系统安装设置。

例 7-3　CA6140 车床电气控制线路

图7-3所示即为CA6140车床电气控制线路。该机床主要控制3台电动机的运转，主轴主动机M1为机床的主动力，负责主轴旋转和工作台进给运动，M2为冷却泵电动机，M3为工作台快速移动电动机。电源通过电源开关QS1引入，FU为电路中的总短路保护。

例 7-4　M7120 型平面磨床电气控制线路 (1)

图7-4所示即为M7120型平面磨床电气控制线路。该线路由两大部分组成，即主电路（1）、控制电路（2）。控制电路则又由电磁吸盘充磁、去磁电路，各电动机控制电路和信号灯电路等组成。其主电路共有4台电动机，M1为液压泵电动机，用它实现工作台的往复运动；M2为砂轮电动机，以带动砂轮转动来完成对加工件的磨削；M3为冷却泵电动机，它供给加工过程中工件的冷却液；M4为砂轮升降电动机，带动砂轮上下移动，以调整砂轮和工件之间的位置。

例 7-5　M7120 型平面磨床电气控制线路 (2)

图7-5所示即为M7120型平面磨床电气控制线路（2）。它接受图例7-4（1）中控制变压器TC输出135V交流电压并经整流器VC整流后输出110V直流电源为电磁吸盘X的电源，24V交流电压作为机床照明电源，6V交流电压作为信号灯电源，127V交流电压则作为控制电路的交流电源。

例 7-6　M7130 型平面磨床电气控制线路

图7-6所示即为M7130型平面磨床电气控制线路。该线路中共有3台电动机，M1为砂轮电动机它是磨床的主动力，带动砂轮对工件进行磨削加工，由接触器KM1控制其电源的通断；M2为冷却泵电动机以带动冷却泵供给加工过程中的冷却液，

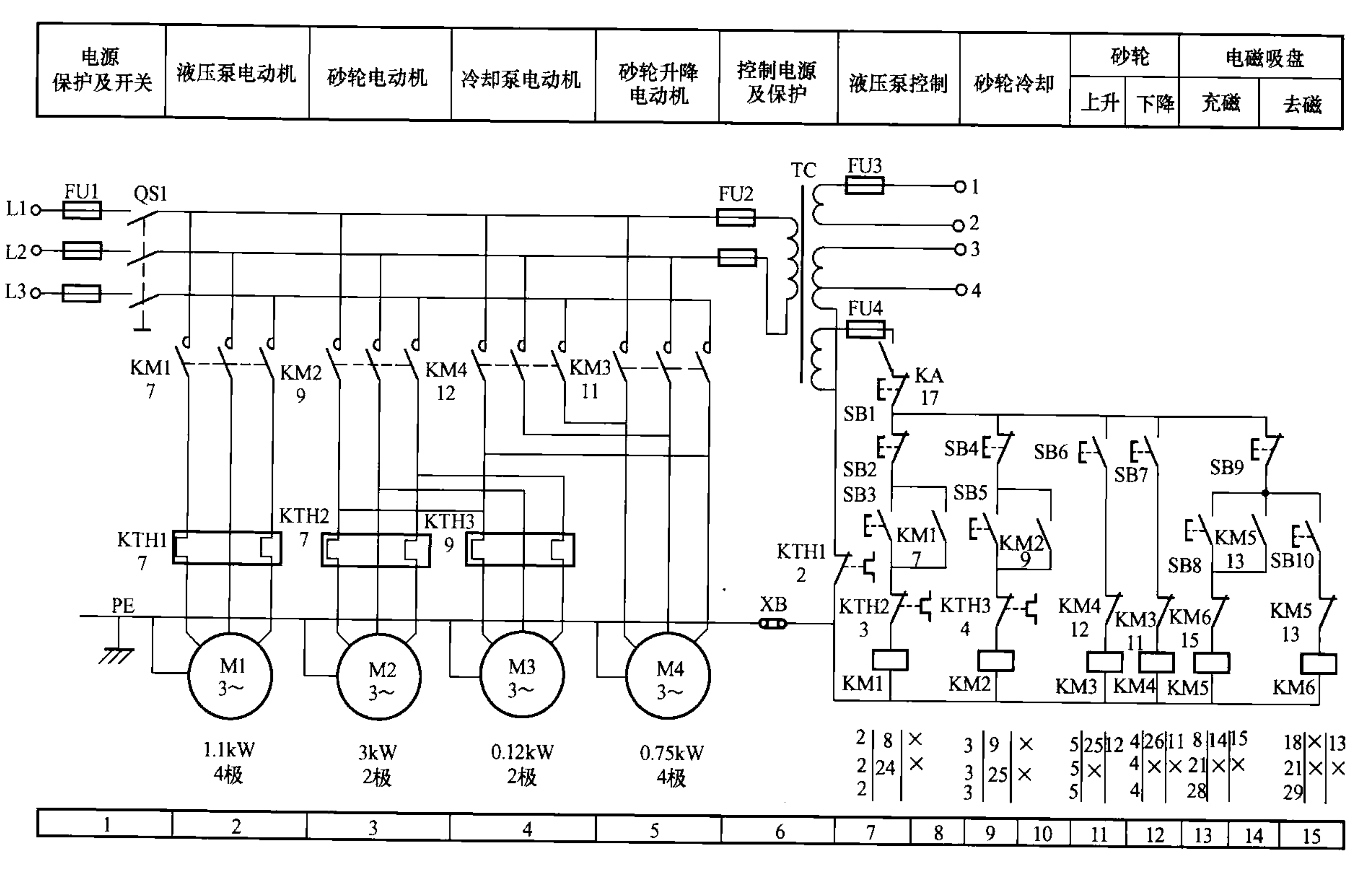


图 7-4　M7120 型平面磨床电气控制线路（1）

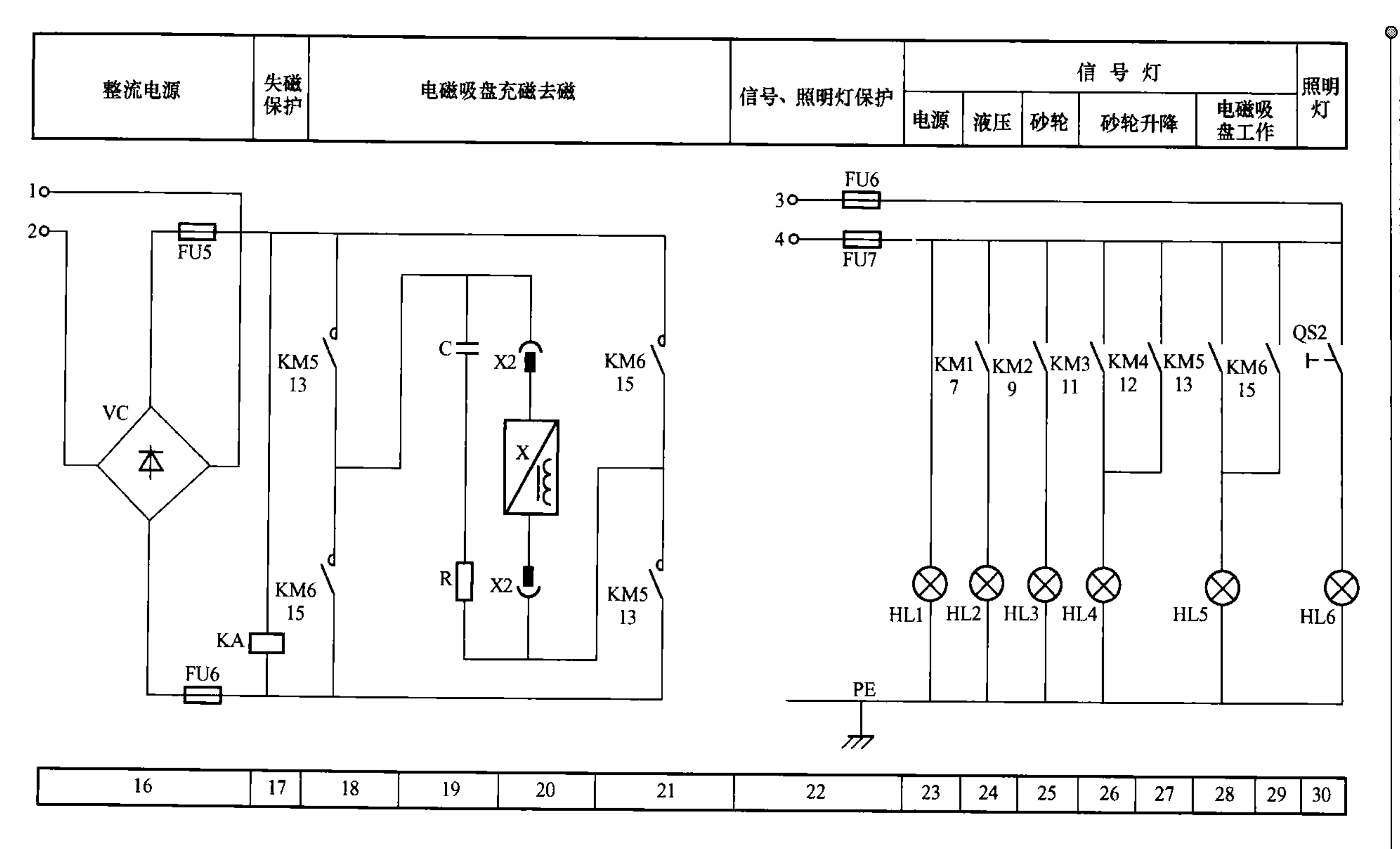


图 7-5 M7120 型平面磨床电气控制线路（2）

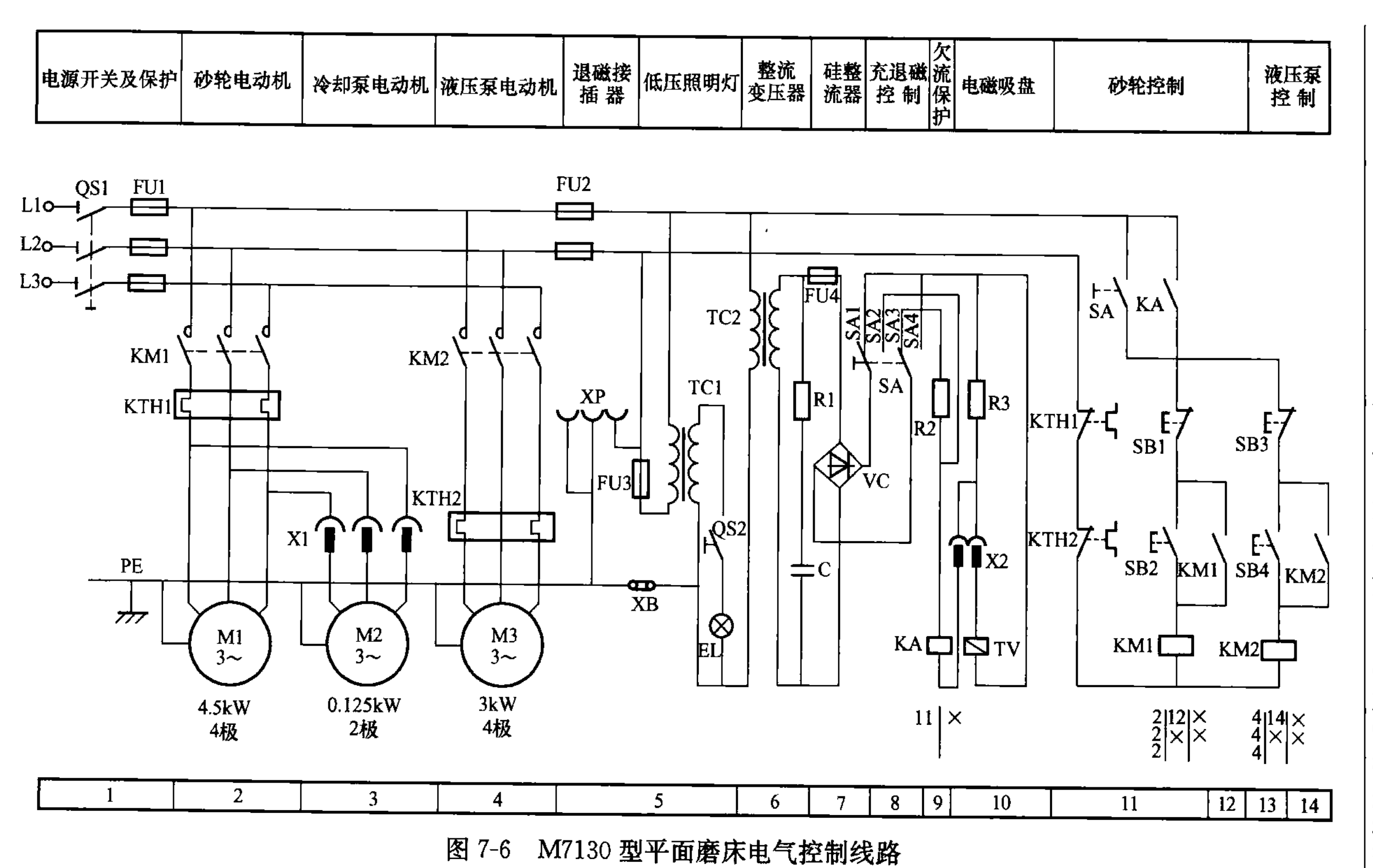


图 7-6　M7130 型平面磨床电气控制线路

它通过接插件 X1 与砂轮电动机 M1 的电源相接。热继电器 KTH1 为主轴电动机 M1 和冷却泵电动机 M2 的过载保护。M3 则为液压泵电动机，它由接触器 KM2 控制其电源的通断，热继电器 KTH2 为它的过载保护。三相电源经电源总开关 QS1 引入，熔断器 FU1 则为电动机 M1、M2、M3 的总短路保护。

例 7-7　Z5163 型立式钻床电气控制线路（1）

图 7-7 所示即为 Z5163 型立式钻床电气控制线路。该立式钻床的电气控制线路较为复杂，因而分两张图（1）、（2）来表示。线路中共有 3 台三相异步电动机。M1 为主轴电动机；M2 为主轴快速移动电动机；M3 为冷却泵电动机。

例 7-8　Z5163 型立式钻床电气控制线路（2）

图 7-8 所示即为 Z5163 型立式钻床电气控制线路。该线路主要分为手动操作钻孔和攻丝；钻孔半自动循环；攻丝半自动循环 3 部分。通过组合开关 SA、中间继电器 KA、时间继电器 KT、接触器 KM 和控制按钮 SB 等，共同实行对 3 台电动机多功能的综合控制。

例 7-9　Z35 型摇臂钻床电气控制线路

图 7-9 所示即为 Z35 型摇臂钻床电气控制线路。该钻床有 4 台三相异步电动机，M1 为冷却泵电动机；M2 为主轴电动机；M3 为摇臂升降电动机；M4 为立柱夹紧放松电动机。M2 只作正向运转，主轴的正、反向运转是靠离合器来实现的；M3 和 M4 都要求能正、反向可逆运行。M2、M3、M4 3 台电动机的电源均由滑环 YG 引出。M1 由开关 QS2 控制，带动冷却泵以使刀具和工件得到冷却。

例 7-10　Z3040 型摇臂钻床电气控制线路（1）

图 7-10 所示即为 Z3040 型摇臂钻床电气控制线路。该钻床具有 4 台三相异步电动机，M1 为主轴电动机；M2 为摇臂升降

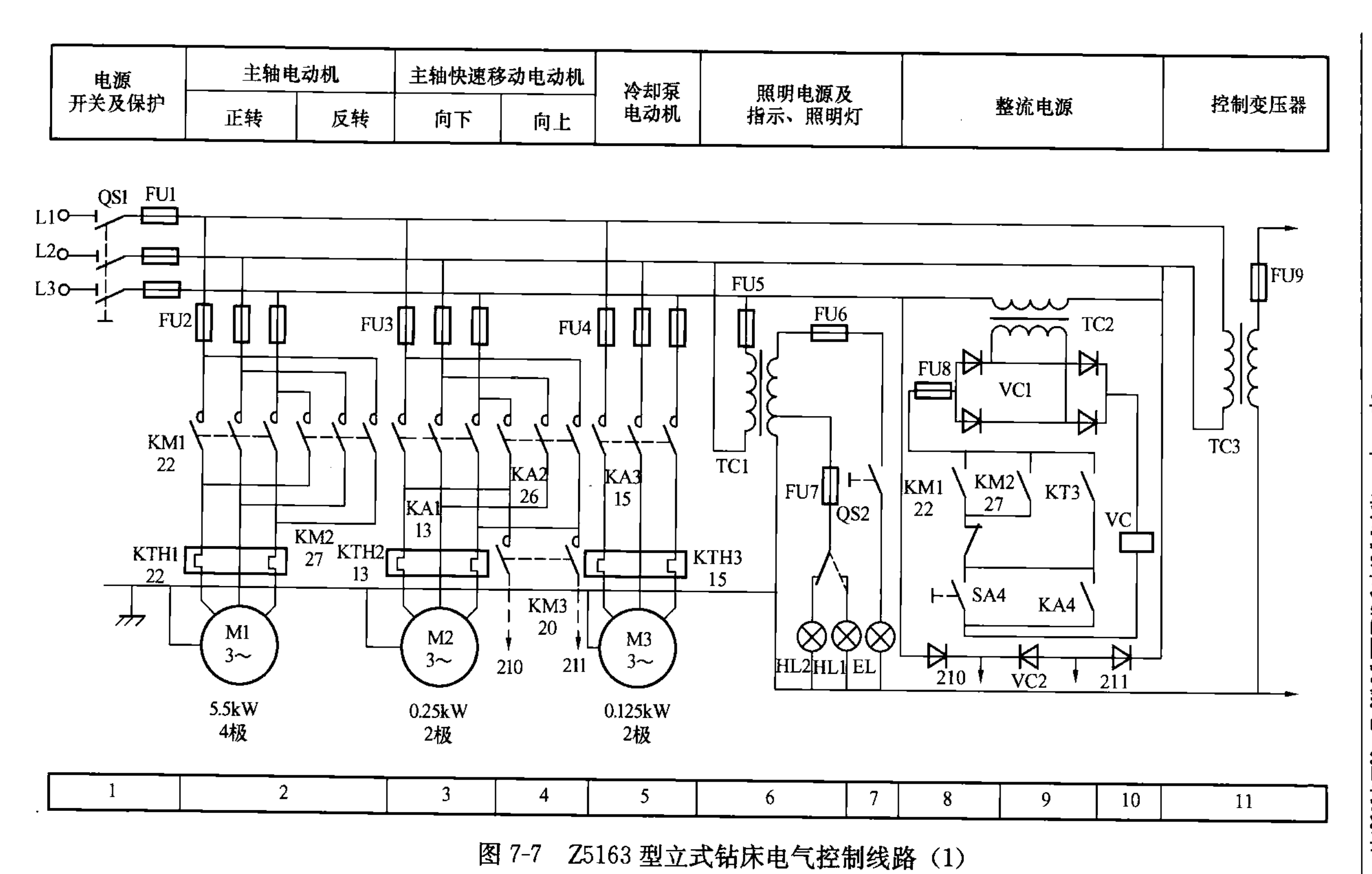


图 7-7　Z5163 型立式钻床电气控制线路（1）

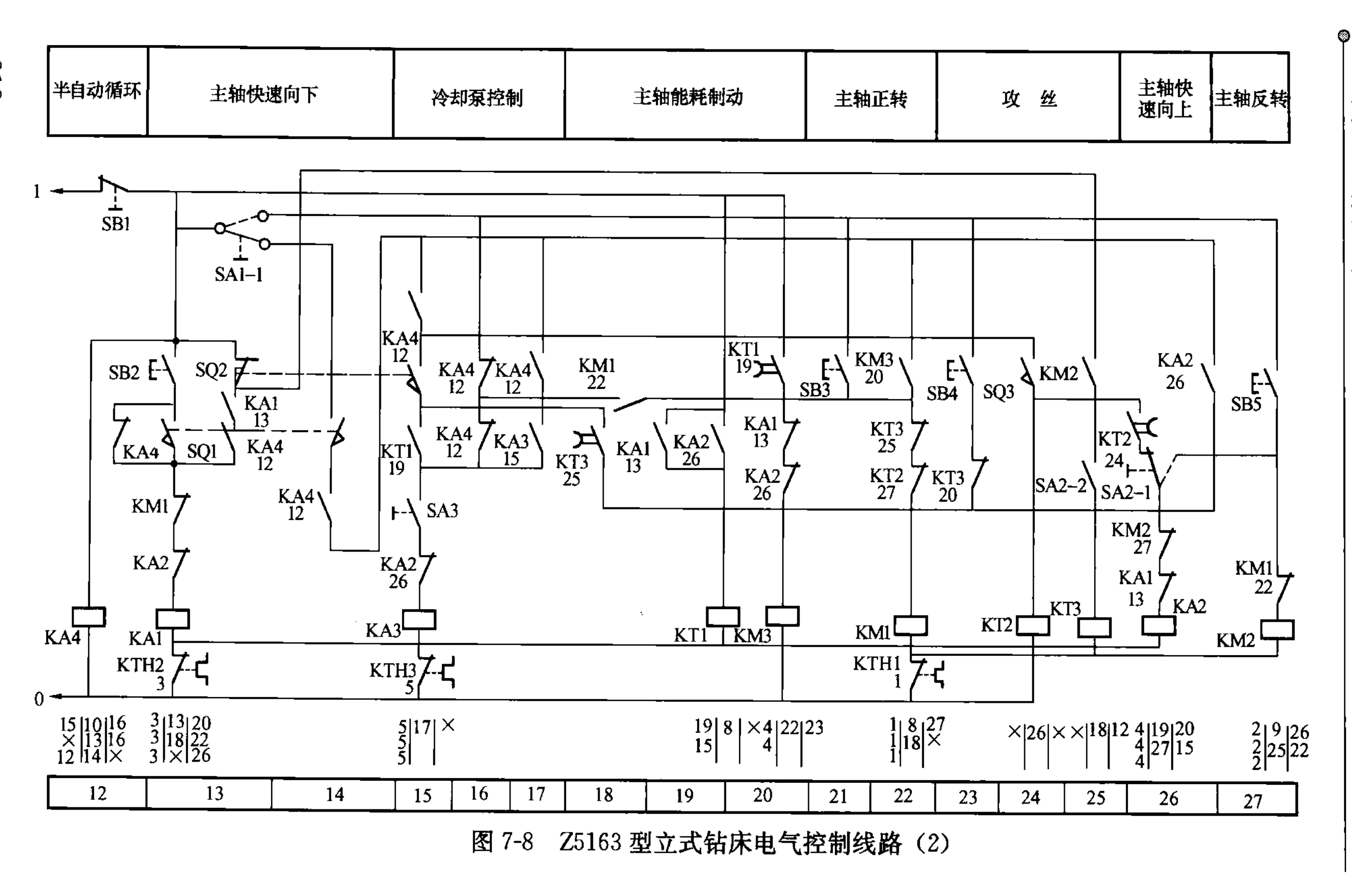


图 7-8 Z5163 型立式钻床电气控制线路（2）

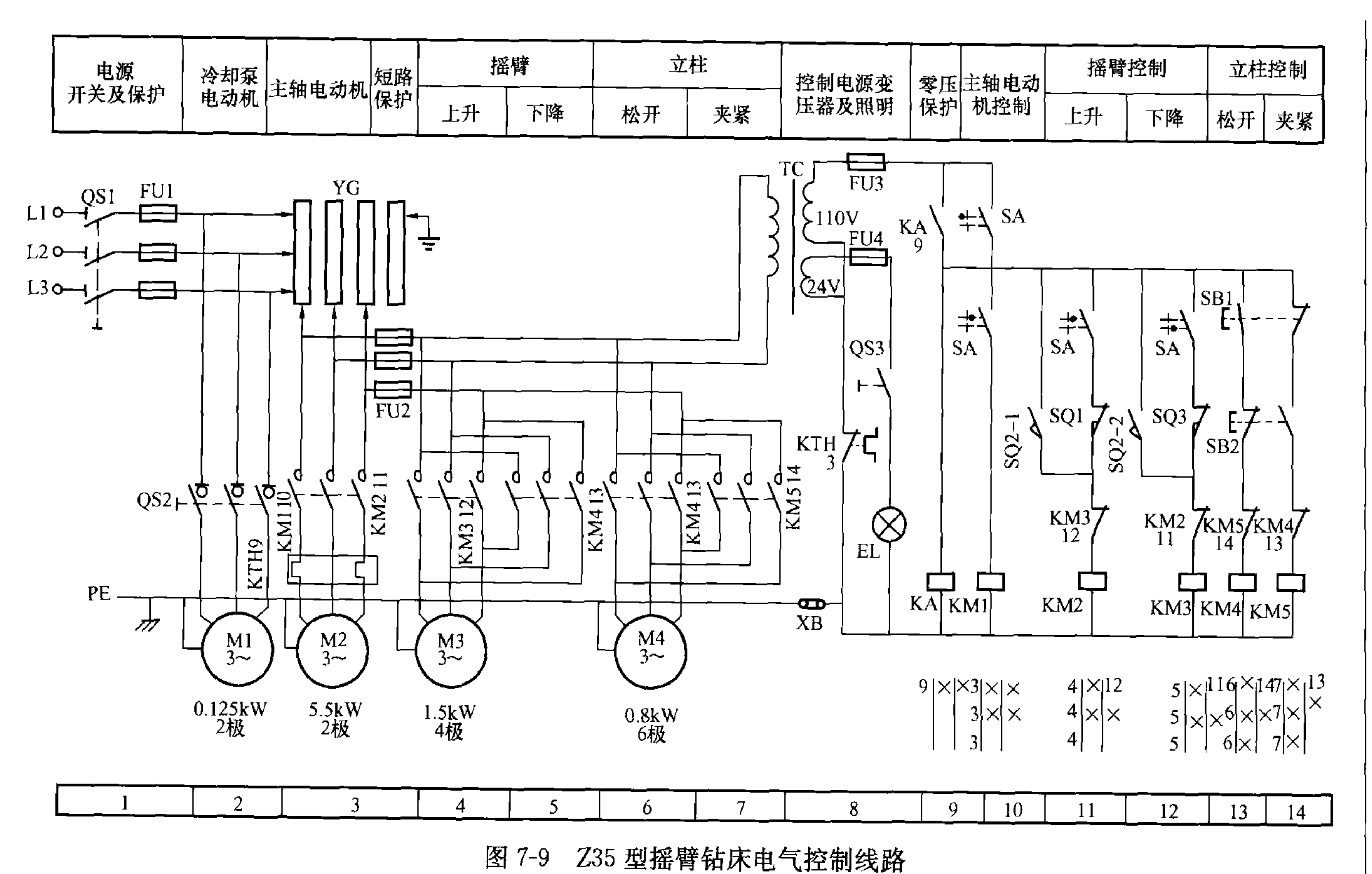


图 7-9　Z35 型摇臂钻床电气控制线路

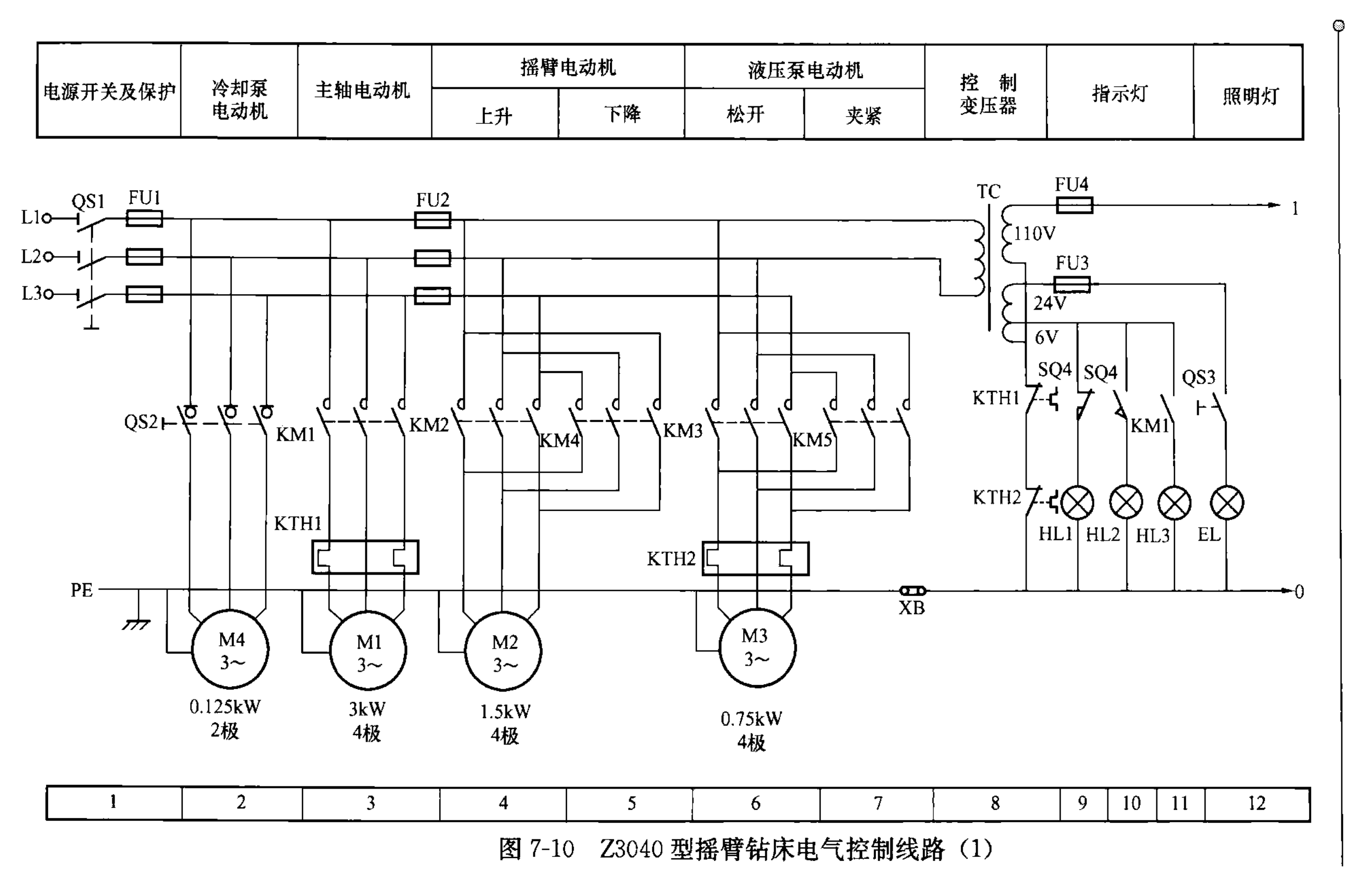


图 7-10　Z3040 型摇臂钻床电气控制线路（1）

电动机；M3 为液压泵电动机；M4 为冷却泵电动机。电源的相序必须接对，可以根据夹紧、松开动作与标牌的标示相符合来确定。Z3040 型摇臂钻床没有电源回转滑环，故不允摇臂始终朝一个方向旋转以免损坏电源线。

例 7-11　Z3040 型摇臂钻床电气控制线路（2）

图 7-11 所示即为 Z3040 型摇臂钻床电气控制线路。该线路主要对几台电动机进行控制。主轴电动机 M1 的控制，起动时按下按钮 SB2，接触器 KM1 得电动作并自锁，M1 即起动运转。按下停止按钮 SB1 时，接触器断电释放则 M1 停止运转。摇臂升降电动机 M2 和液压泵电动机 M3，则由控制按钮 SB3、SB4，时间继

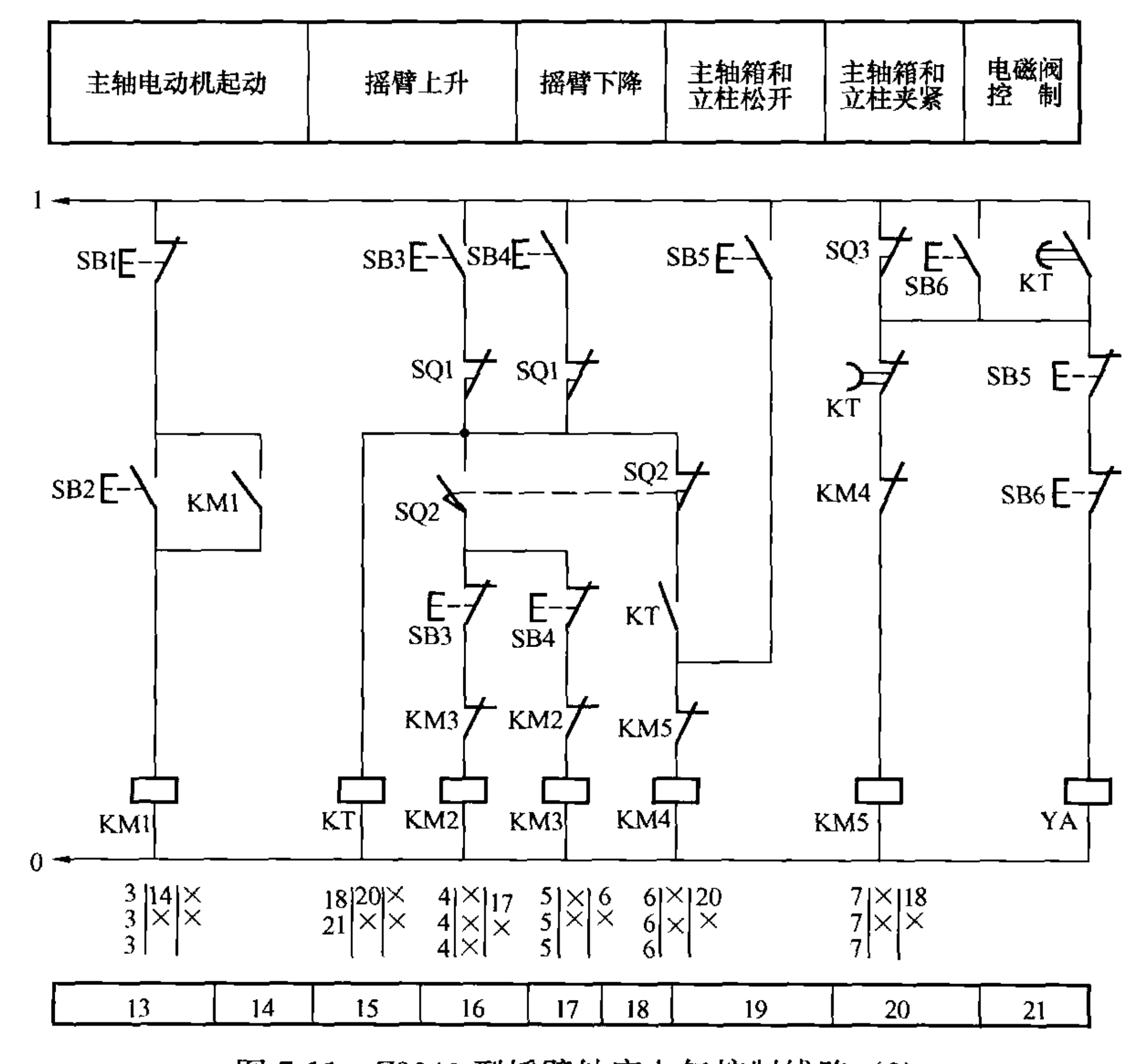


图 7-11　Z3040 型摇臂钻床电气控制线路（2）

电器 KT，限位开关 SQ，接触器 KM，电磁铁 YA 等组合控制。立柱、主轴箱的松开和夹紧控制，操作时按下放松按钮 SB5（或夹紧按钮 SB6），接触器 KM4 得电闭合并自锁，M3 起动后即供给压力油。通过机械液压系统使立柱和主轴箱分别放松（或夹紧），指示灯亮。主轴箱、摇臂和内外立柱 3 部分的夹紧均由电动机 M3 带动的液压泵供给压力油，经各自的油缸使之夹紧和放松。

例 7-12　X62W 型万能铣床电气控制线路（1）

图 7-12 所示即为 X62W 型万能铣床电气控制线路。该线路中 M1 为主轴电动机；M2 为工作台进给电动机；M3 为冷却泵电动机。M1 由接触器 KM1、KM2 以及转换开关 SA4 进行正、反转和降压反接制动及瞬时冲动的控制。M2 由接触器 KM3、KM4 进行正、反转控制，以实现工作台的上下、左右、前后方向的快慢的限位控制。M3 则由接触器 KM5 作正方向的单向运转控制。

例 7-13　X62W 型万能铣床电气控制线路（2）

图 7-13 所示即为 X62W 型万能铣床电气控制线路。该线路中主轴电动机 M1 的控制为，先合上总电源开关 QS1 并转动转换开关 SA4，按下按钮 SB3（或 SB4），接触器 KM1 得电闭合，主轴电动机 M1 起动，按钮 SB3 和 SB4 为两地操作的起动按钮。停止按钮 SB1、SB2 与接触器 KM2、速度继电器 SR 一起，共同控制电动机的停止运转和反接制动。主轴变速时的冲动控制则是利用变速手柄与冲动行程开关 SQ7，并通过机械联动机构来实现的。工作台进给电动机 M2 的控制则由转换开关 SA 来执行，用以控制工作台上下、左右、前后 6 个方向的运动。冷却泵电动机 M3 应在主轴电动机起动后再起动，此时将转换开关 SA3 闭合，接触器 KM6 得电闭合后 M3 起动，通过液压泵和管道将冷却液送到刀具和工件处。

例 7-14　T68 型卧式镗床电气控制线路（1）

图 7-14 所示即为 T68 型卧式镗床电气控制线路。该线路中

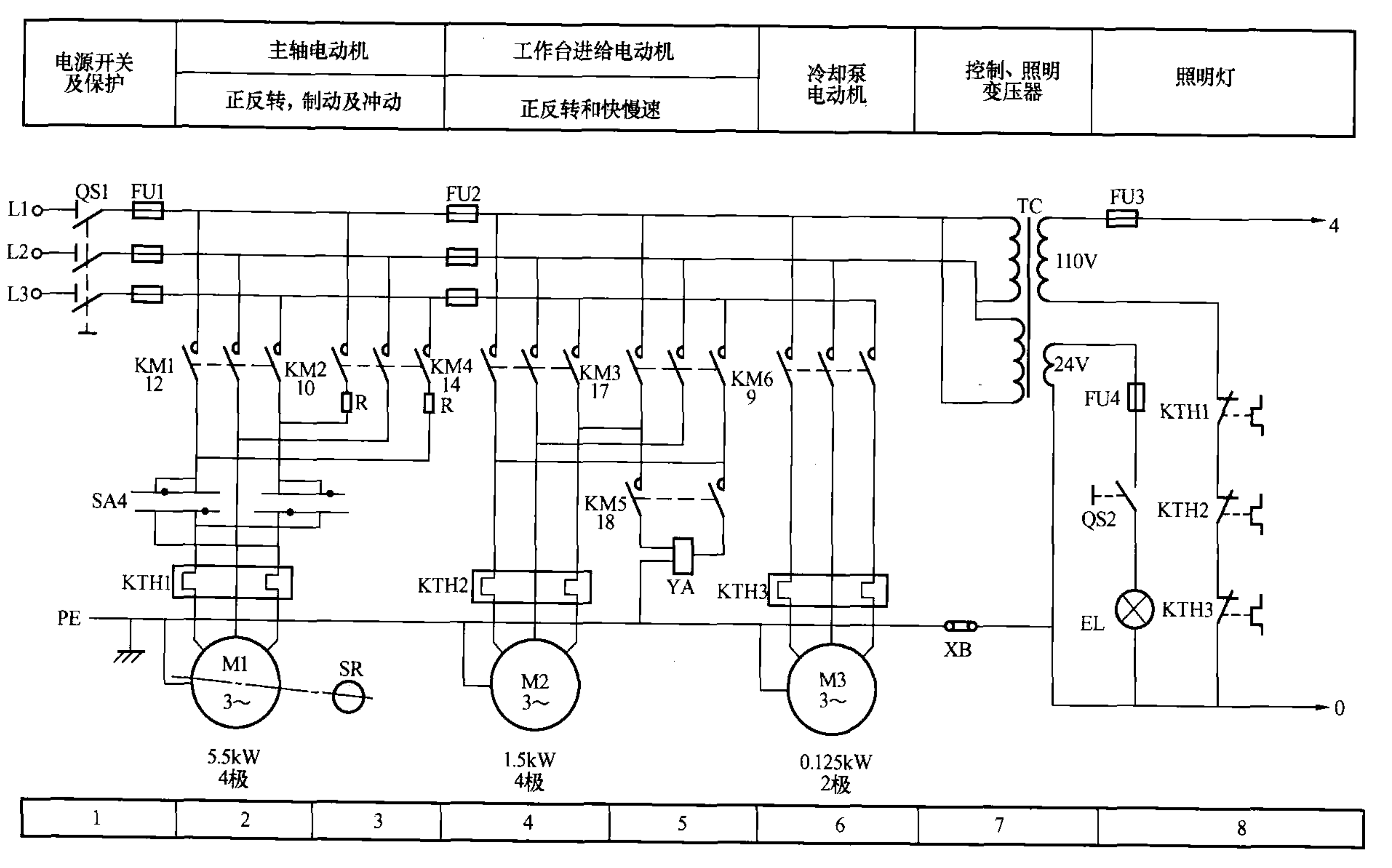


图 7-12　X62W 型万能铣床电气控制线路（1）

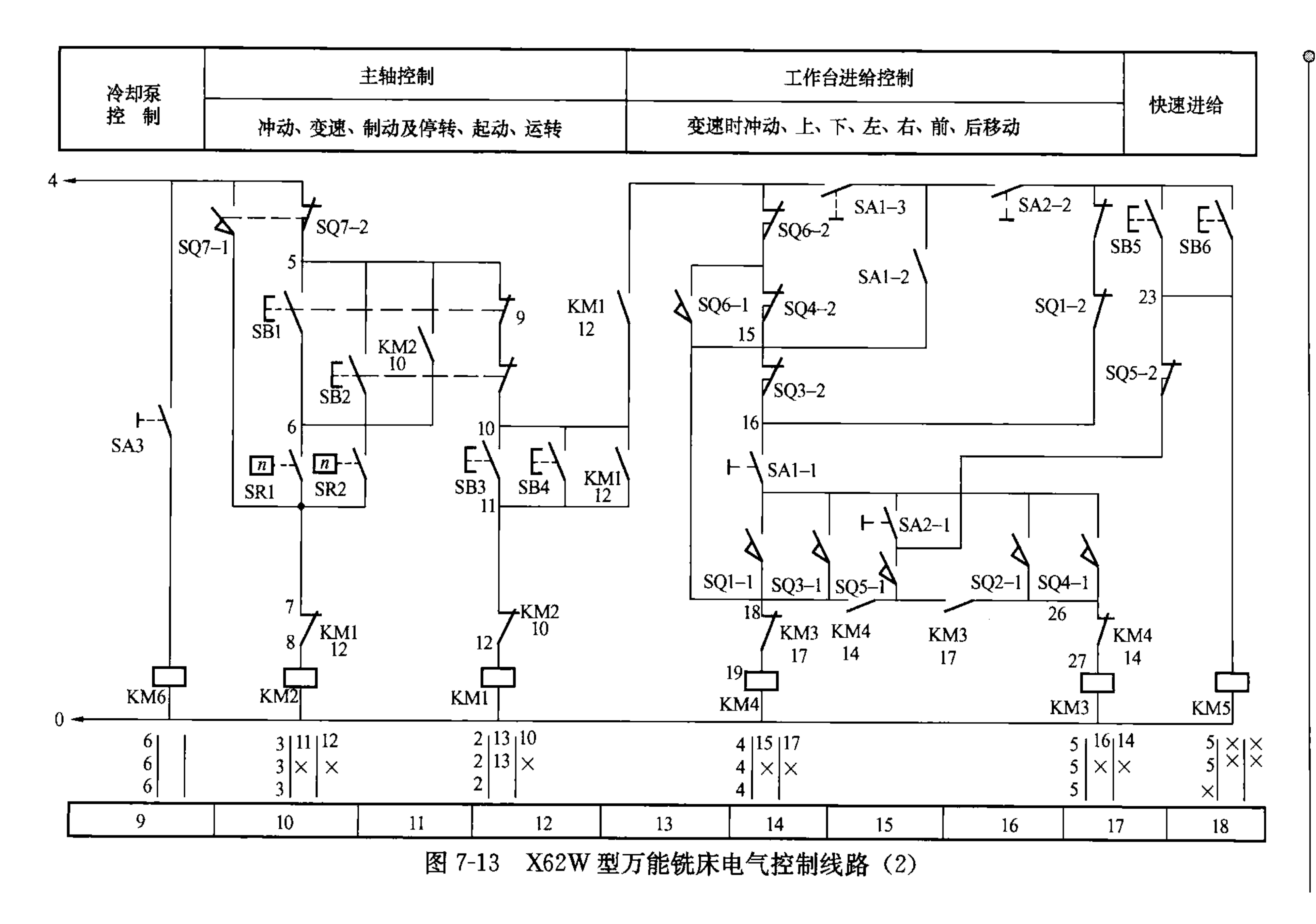


图 7-13 X62W 型万能铣床电气控制线路（2）

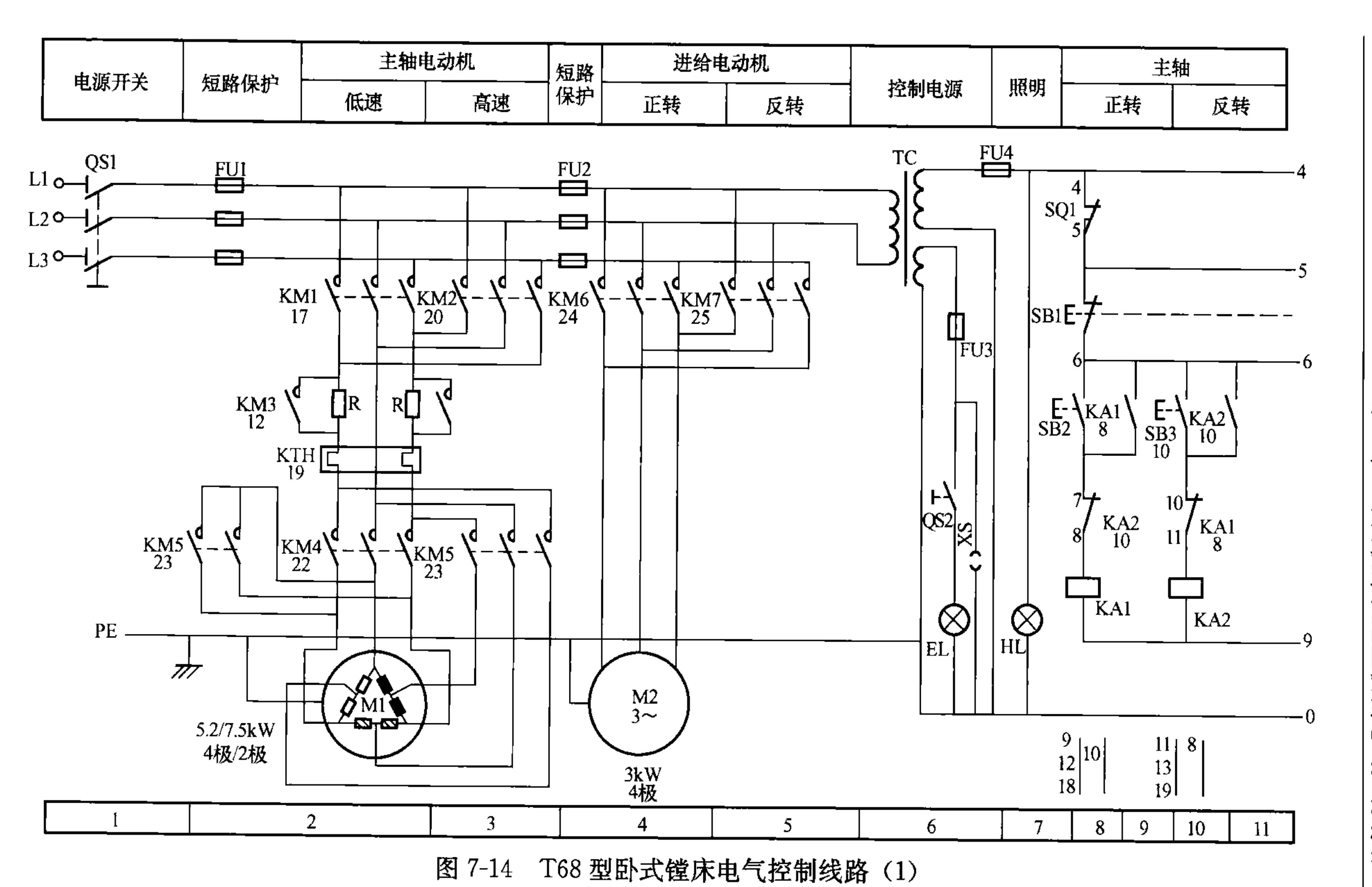


图 7-14　T68 型卧式镗床电气控制线路（1）

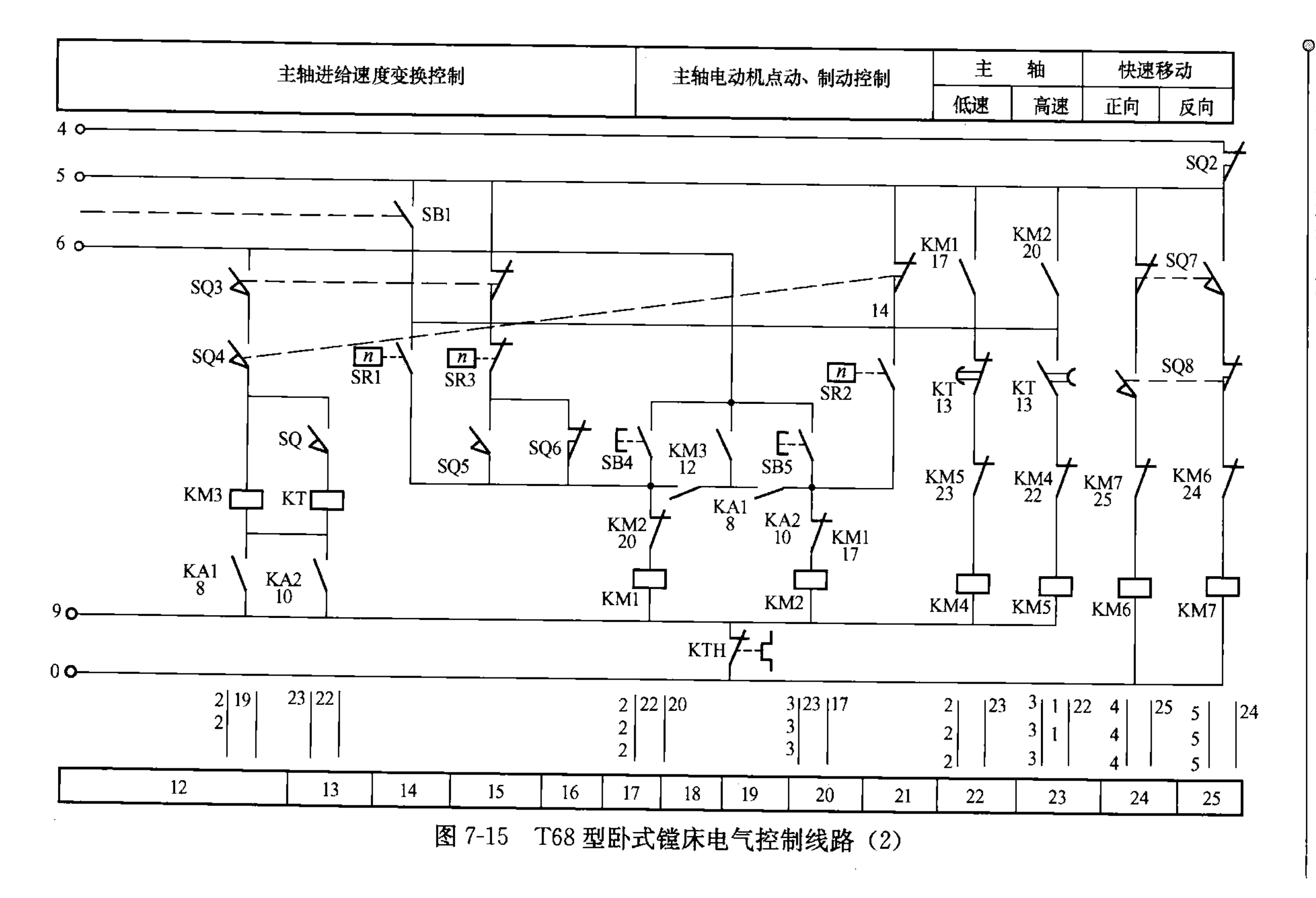


图 7-15 T68型卧式镗床电气控制线路（2）

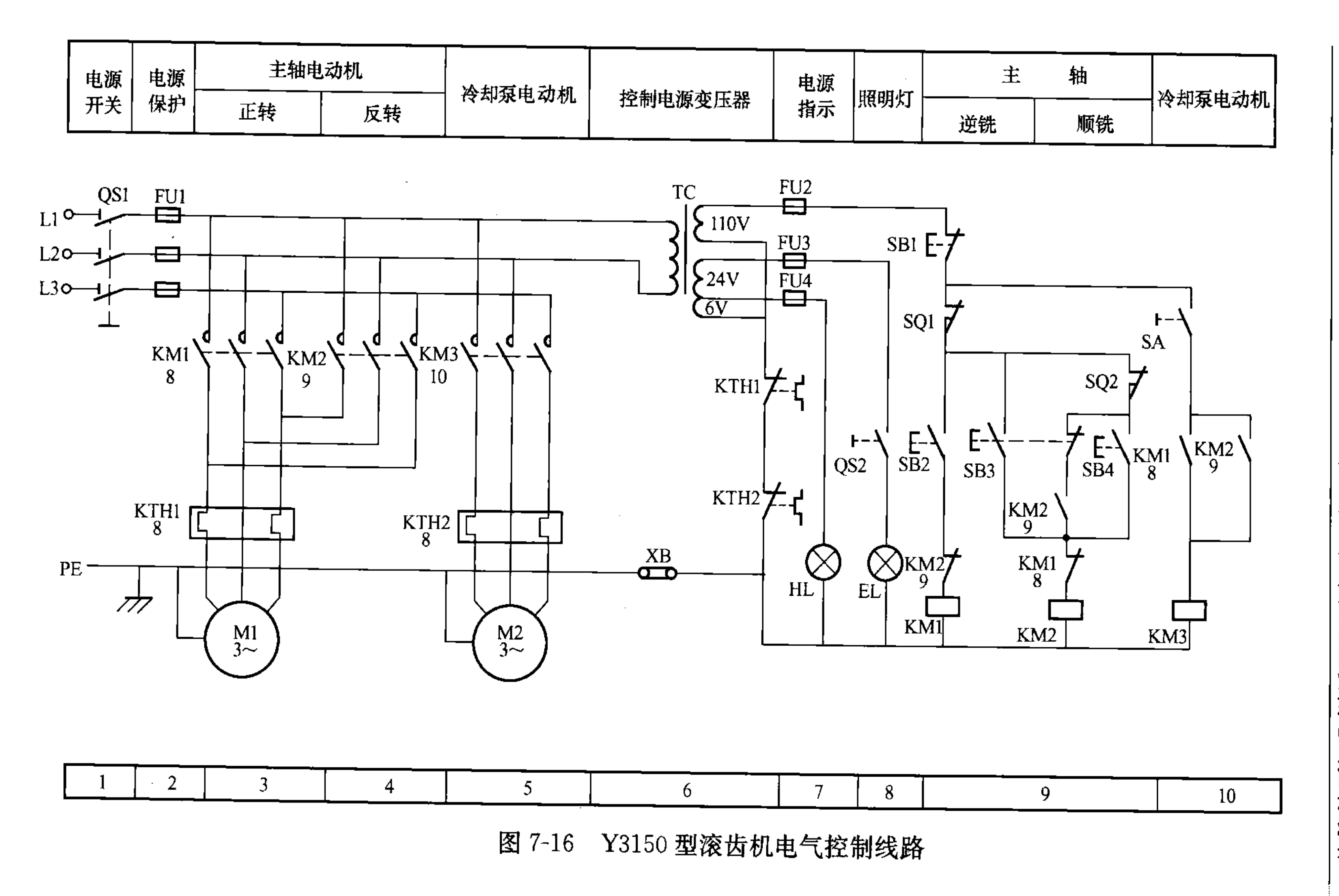


图 7-16　Y3150 型滚齿机电气控制线路

有两台三相异步电动机，M1 为主拖动双速电动机，它带动主轴旋转和作进给用，并能正反向运转、正反向点动、制动、高低速调速。具有双速电动机的两级起动控制，保证主轴旋转和进给量都有足够的调速范围。双速电动机在△形连接时低速运行，双路Y形联接时则为高速运行。M2 为快速移动电动机，它用以完成各运动方向的快速移动。

例 7-15　T68 型卧式镗床电气控制线路（2）

图 7-15 所示即为 T68 型卧式镗床电气控制线路。该控制线路主要有以下几部分：主拖动电动机 M1 的控制由按钮 SB1、SB2、SB3、SB4、SB5，时间继电器 KT，行程开关 SQ1、SQ2 及接触器 KM1、KM2、KM3、KM4、KM5 等进行。它包括高、低速控制，主轴的点动、停止、制动控制、变速及进给变速控制，快速称动电动机 M2 的控制等。

例 7-16　Y3150 型滚齿机电气控制线路

图 7-16 所示即为 Y3150 型滚齿机电气控制线路。该机床具有两台三相异步电动机 M1、M2，M1 由起动按钮 SB2、SB3 与接触器 KM1、KM2 控制其正、反向可逆运行。M2 则由转换开关 SA 和接触器 KM3 控制作单向运行。热继电器 KTH1、KTH2 为两台电动机 M1、M2 的过载保护，熔断器 FU1 则为总线路的短路保护。

第 2 节　起重机械电气控制线路

起重机械是一种用来起吊和放下重物在短距离内水平移动的机械设备，被广泛应用于工矿企业、建筑工地、仓库、车站、港口等部门。它在促使生产过程机械化中起着重要作用，是现代化生产不可缺少的工具之一。

起重机械设备的电气控制线路较普通设备要复杂一些，其特

点是空间跨度大、动态范围宽、保护较全面。对桥式起重机而言，它可以说是多方位控制设备。它要时刻考虑被吊物体与前后、左右、上下的关系，以及周围人员的进出等。

例 7-17　电动葫芦电气控制线路

图 7-17 所示即为电动葫芦电气控制线路。这种电动葫芦是一种结构简单，起重量较小的起重机械。为了安全它只采用点动控制，经滑线将电源四芯绝缘线接入电动葫芦控制箱内，然后通过控制箱把控制线引下接入一按钮盒来操纵电动机 M1、M2。

例 7-18　5 吨桥式起重机主电气线路

图 7-18 所示即为 5 吨桥式起重机主电气线路。桥式起重机起重量大，并能在其活动范围内方便地搬运物品，因而普遍地被用于工矿企业的日常生产中。桥式起重机一般由主梁、大车电动机、主滑线、驾驶室、电阻箱、小车滑线架、小车及安装其上的吊钩升降机构和小车运行机构等部分组成。因大、小车的负载都比较重，故对拖动电动机的要求较高，通常均用起动性能较好的绕线转子三相异步电动机来拖动。

例 7-19　5 吨桥式起重机控制线路

图 7-19 所示即为 5 吨桥式起重机控制线路。该起重机具有 3 台三相异步电动机 M1、M2、M3，去完成拖动起重机前后、左右、上下的运动。M1、M2、M3 的电气控制则由凸轮控制器，控制按钮 SB1、SB2，转换开关 SA、位置开关 SQ 等执行。

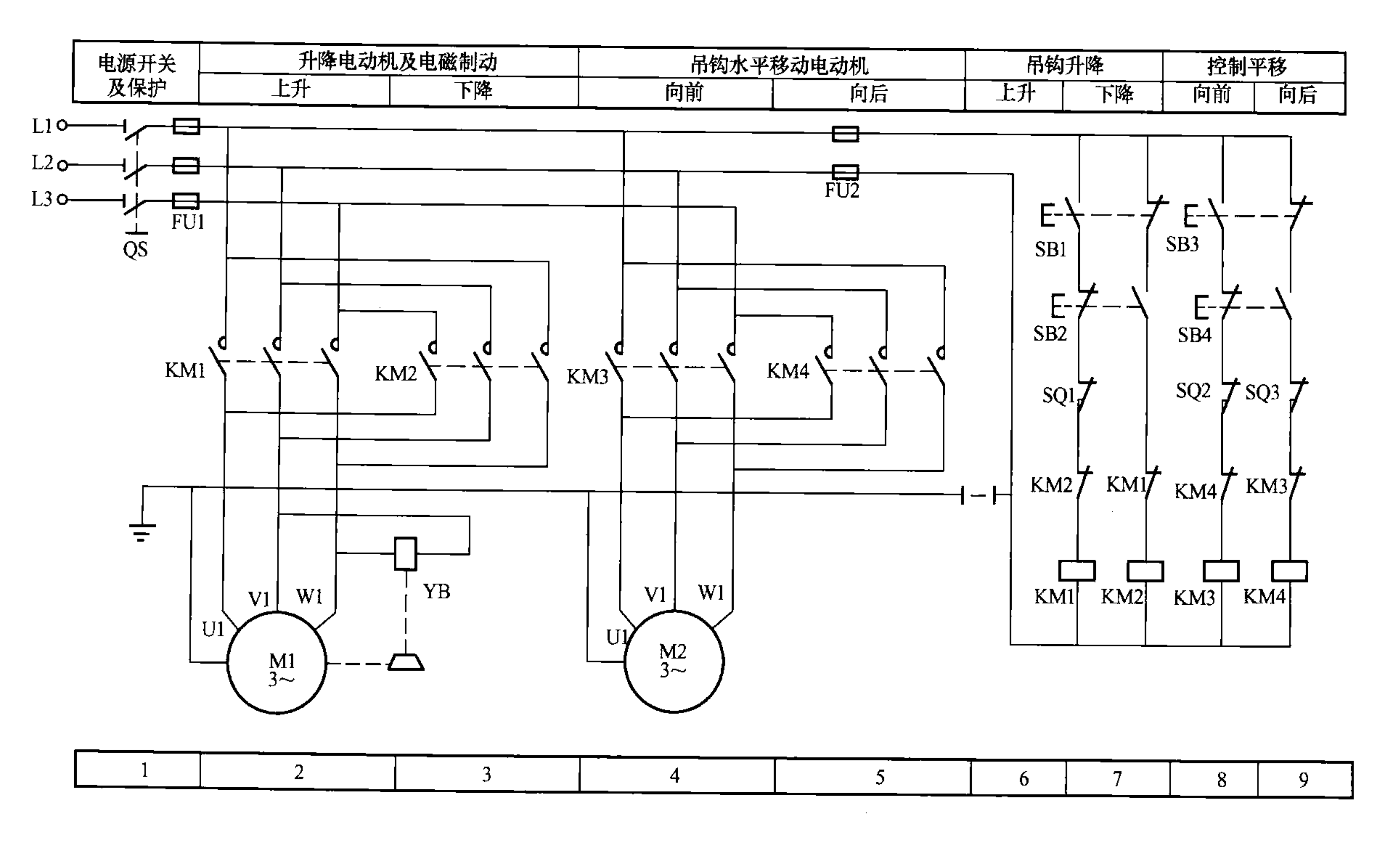


图 7-17　电动葫芦电气控制线路

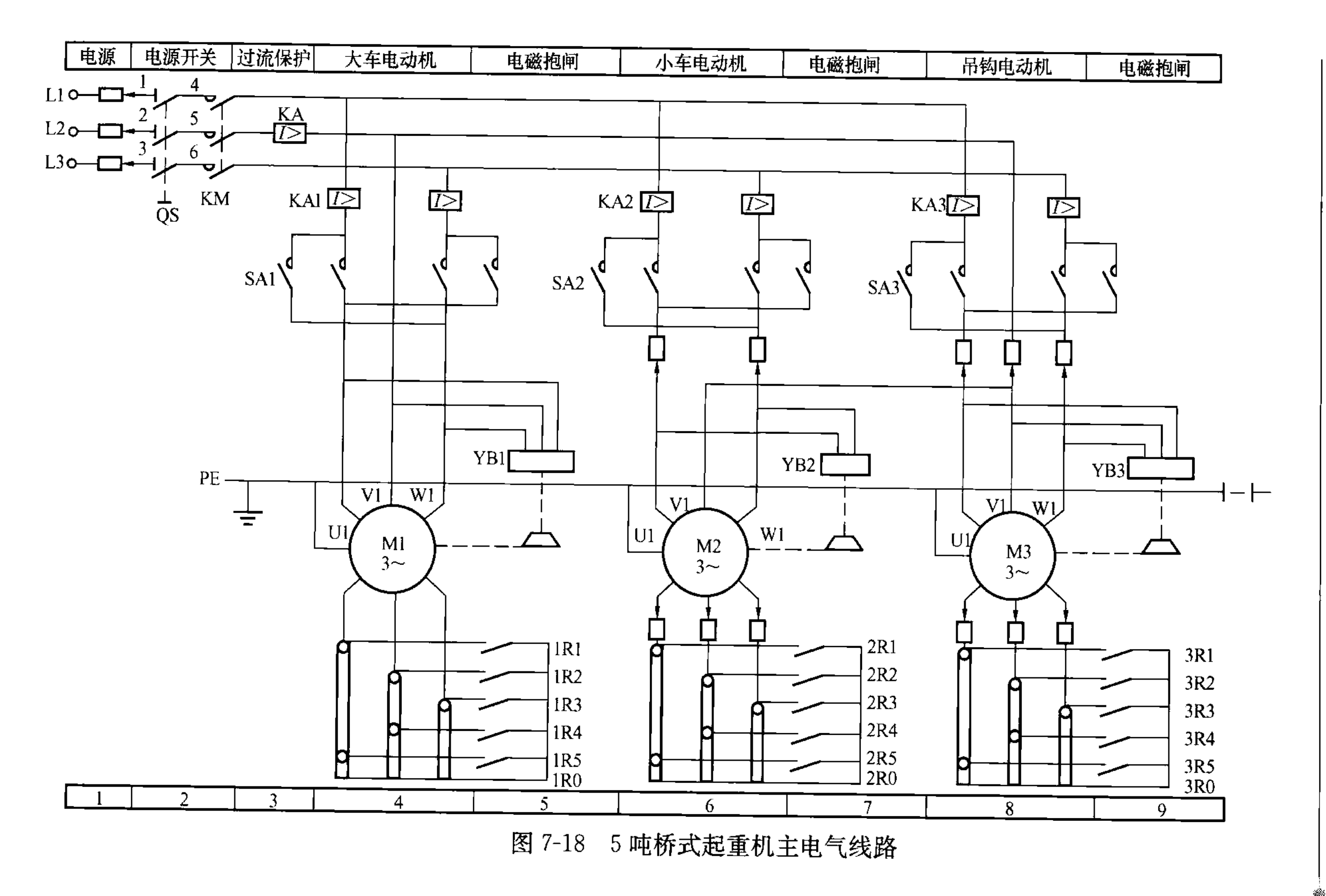


图 7-18　5 吨桥式起重机主电气线路

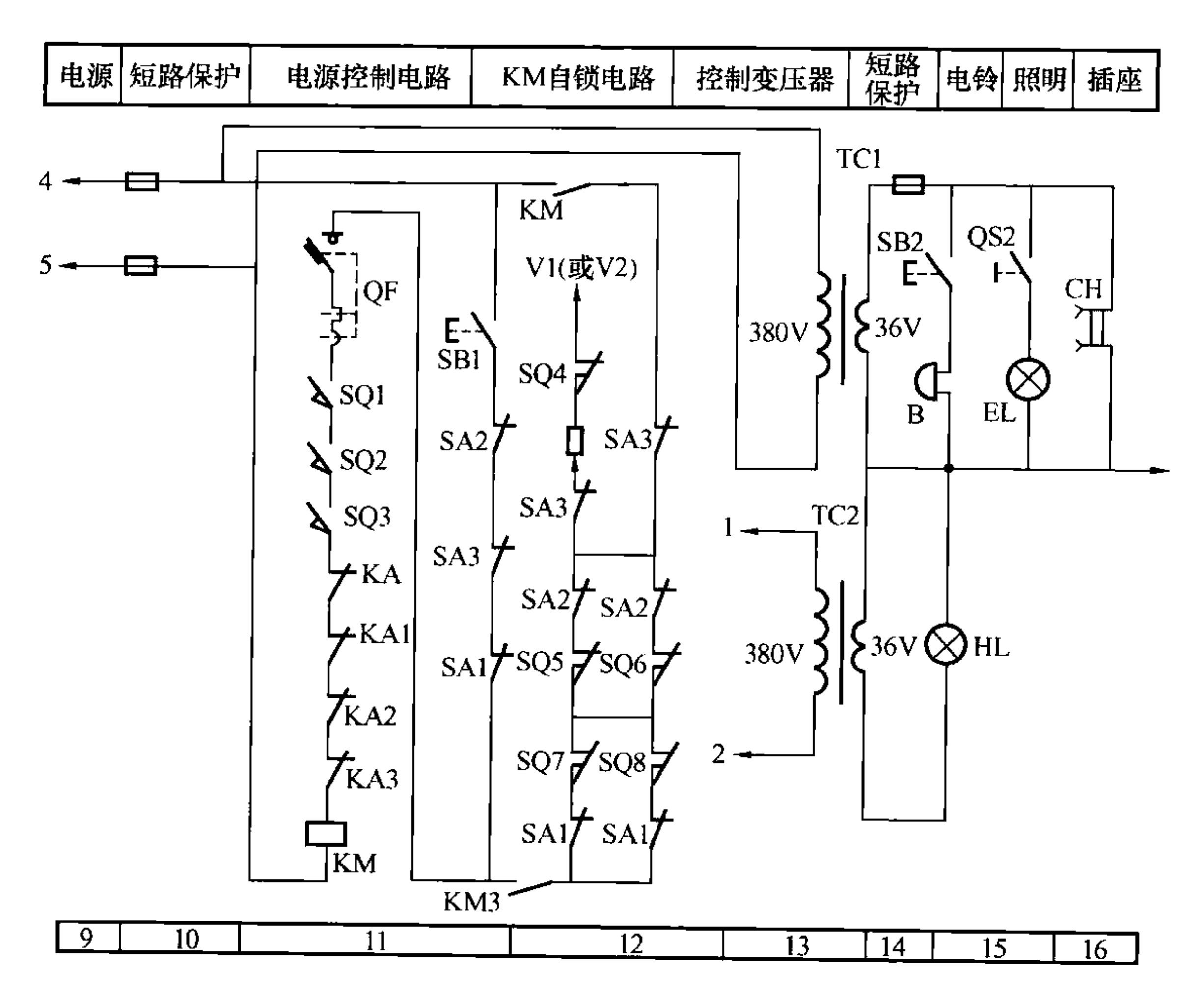


图 7-19　5 吨桥式起重机控制线路



第 8 章

电动机检测与试验线路

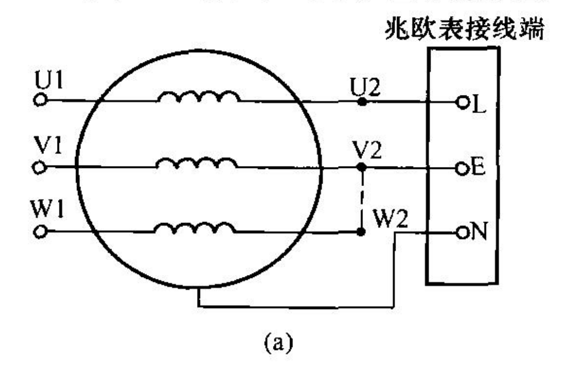
电动机的检测与试验工作，是鉴定电动机的绝缘状态、技术性能，为其安全和良好运行提供技术依据。电动机的测试应根据试验项目，了解试验用电源的接线方式、组别、相序、电压等级及电压对称性等情况。所选用的仪器仪表，直接关系到测试的准确度。一般如电压、电流、瓦特表均采用 0.5 级的为好，但有时也采用 1.0 级的仪表。绝缘电阻表、电桥表、转速表等的准确度则可按实际情况来选定。选择仪表量程时，应尽可能使其所测数值在仪表全刻度的 20％～95％范围内。

第 1 节　电动机常用检测与试验线路

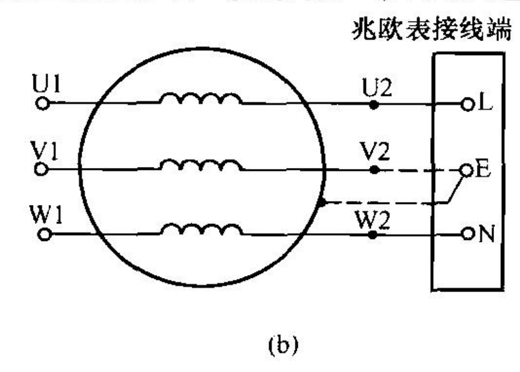
电动机的运转可靠性关系到电机能否正常使用及人身、设备的安全问题。绝缘电阻及直流电阻测定、耐压试验、电压和电流的测量等都是为考核电动机的运转可靠性而进行的。

例 8-1　电机绕组绝缘电阻测量电气线路

图 8-1 所示即为电机绕组绝缘电阻测量电气线路。该项测量



(a)



(b)

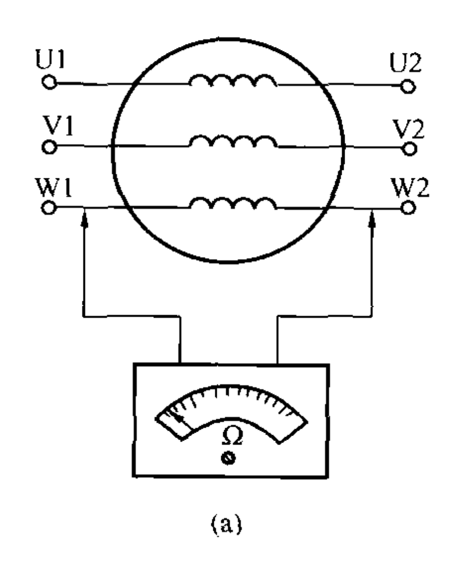
图 8-1　电机绕组绝缘电阻测量电气线路

(a) 测绕组对地绝缘电阻的接线；(b) 测绕组相间绝缘电阻的接线

通常均在电机运转前进行，分别检测定、转子绕组在冷态下的对地及相间绝缘电阻。额定电压 380V～3000V 以上的电机，可分别使用 500V～1000V～2500V 的绝缘电阻表检测。

例 8-2　电机绕组直流电阻测量电气线路

图 8-2 所示即为电机绕组直流电阻测量电气线路。该线路中的电桥表法具有简单、方便和安全的优点，因而得到广泛应用。当电机绕组电阻大于 1Ω 时，可采用单臂电桥表测量；而绕组电阻小于 1Ω 时，则采用双臂电桥表测量。电流、电压表法测量绕组电阻时，要求电源稳定，仪表接线正确和接触良好，并且测量



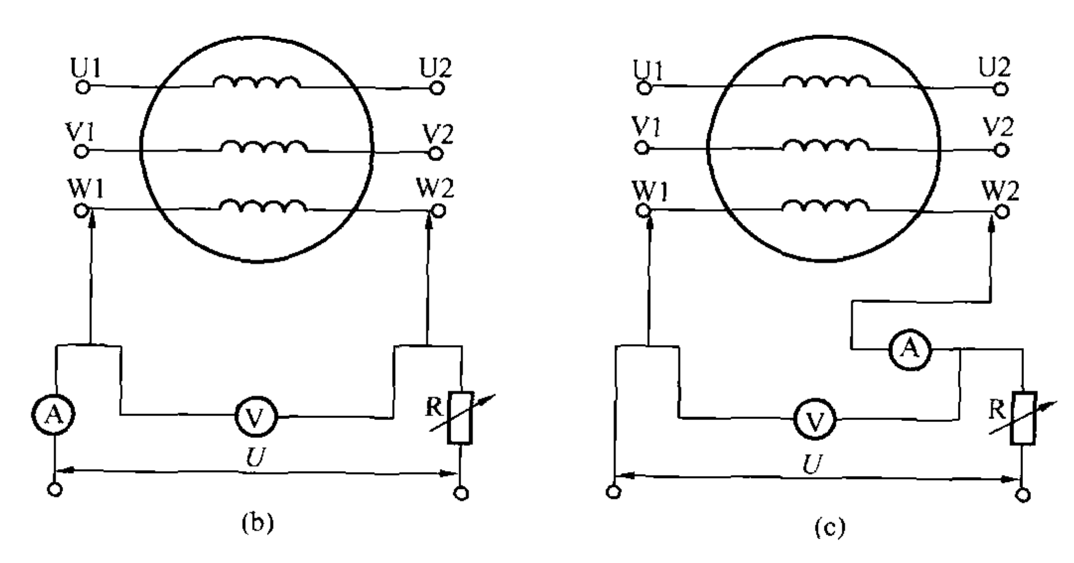


图 8-2　电机绕组直流电阻测量电气线路

(a) 电桥法测量绕组电阻的线路；(b) 电流表和电压表法测量绕组电阻线路 (1)；(c) 电流表和电压表法测量绕组电阻线路 (2)

时间应尽可能短，以免电机绕组过热。

例 8-3　电机绕组绝缘交流耐压试验电气线路

图 8-3 所示即为电机绕组绝缘交流耐压试验电气线路。该项试验检测电机绕组对地和相间的耐压情况。被试电机应处于静止状态，且不得与网路连接。电机绕组绝缘交流耐压试验电压可参考下表。

电机绕组绝缘交流耐压试验电压

项号	电机功率与电压	试验电压（有效值）
1	1kW（kVA）以下电机或额定电压不超过 36V 的电机	2 倍额定电压+500V
2	1kW（kVA）以上至 10000kW 以下，额定电压超过 36V 的电机	2 倍额定电压+1000V，最低为 1500V
3	10000kW（kVA）以上的电机： 2000V～6000V 6000V 以上～17000V	2.5 倍额定电压+1000V 2 倍额定电压+3000V

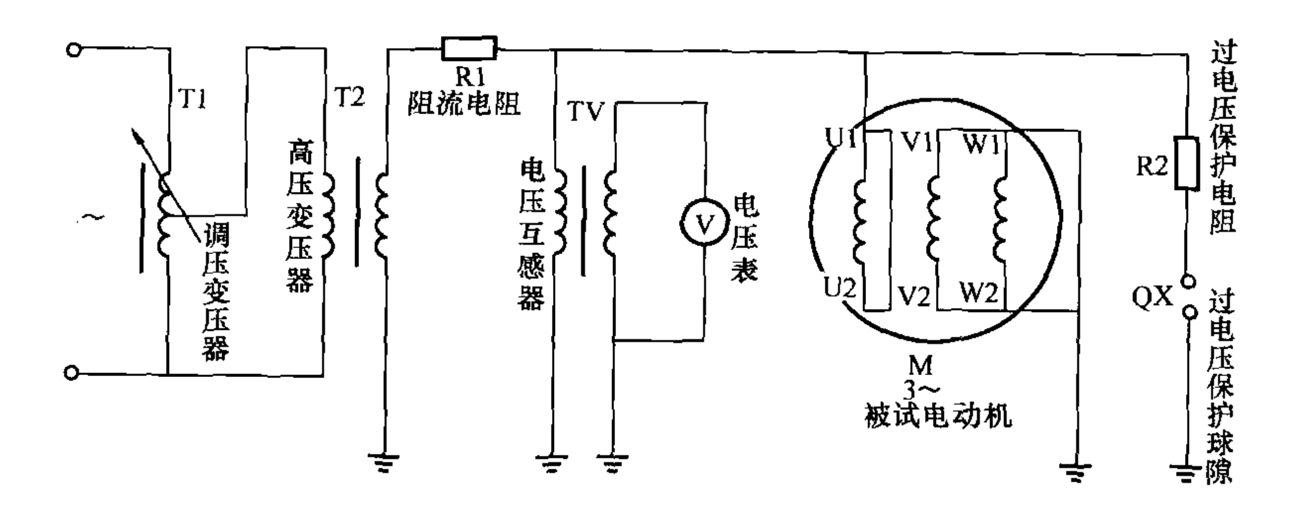


图 8-3　电机绕组绝缘交流耐压试验电气线路

例 8-4　电机绕组绝缘直流耐压试验电气线路

图 8-4 所示即为电机绕组绝缘直流耐压试验电气线路。试验是在被试绕组与机壳或各相绕组之间进行，加上直流高压以测量绕组绝缘的耐压强度及泄漏电流与电压的关系。如绕组绝缘有缺

陷，则泄漏电流会随电压的升高而成非线性地显著增大。

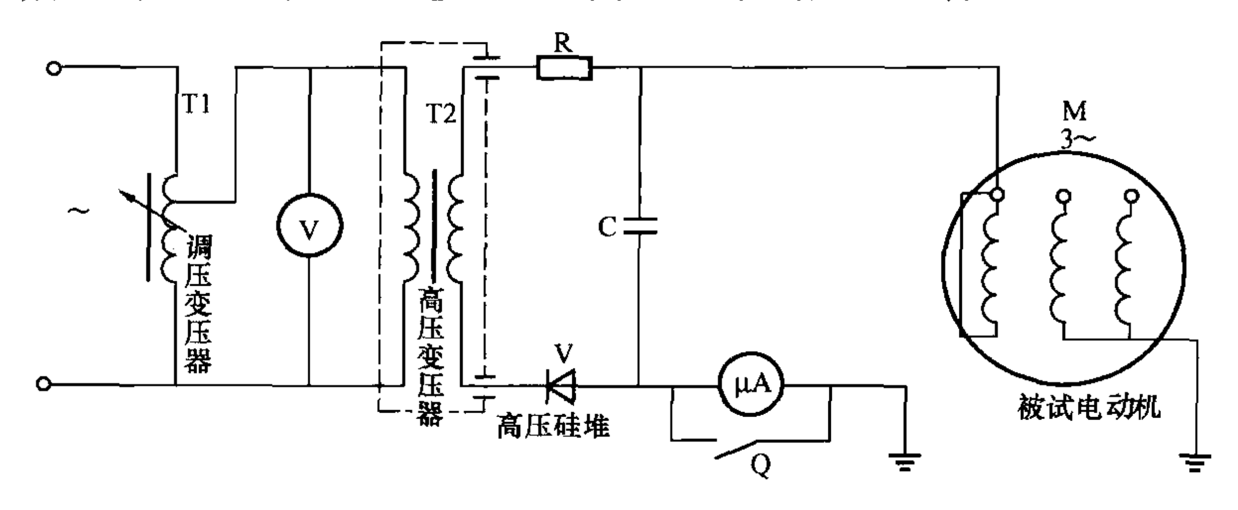


图 8-4 电枢绕组绝缘直流耐压试验电气线路

例 8-5 三相异步电动机电压、电流测量电气线路

图 8-5 所示即为三相异步电动机电压、电流测量电气线路。该测量线路中只接有一个电压表，通过换相开关 Q 来检测三相线电压，电压表一般接在电动机端。从三相电流是否平衡就可以反映出该电动机的许多故障，为准确检测电动机三相电流值即应在线路中装 3 只电流表。

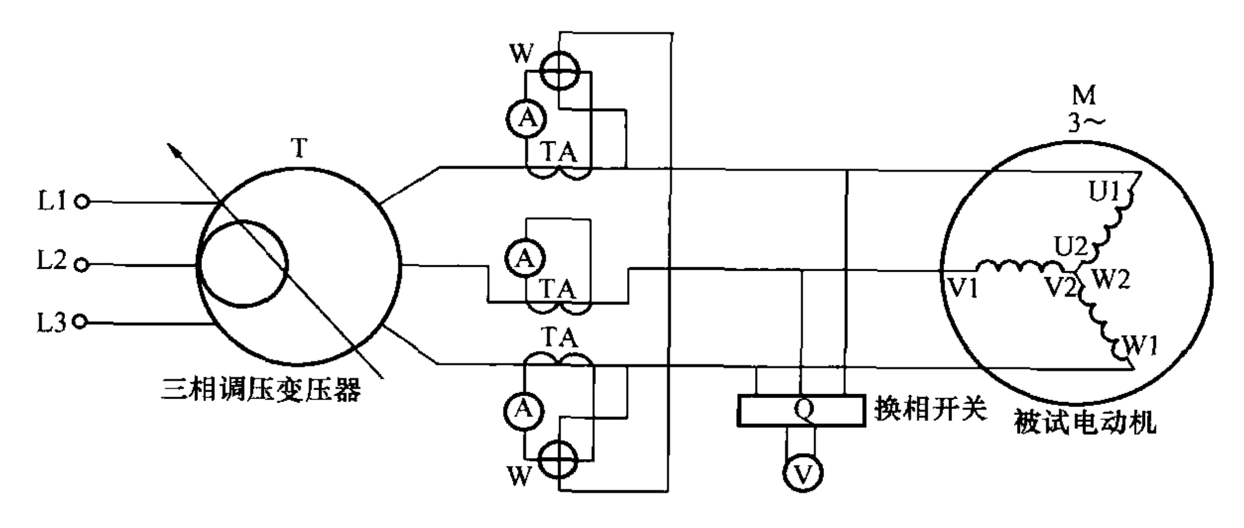


图 8-5 三相异步电动机电压、电流测量电气线路

第 2 节 异步电动机试验线路

异步电动机分为检查试验和型式试验两大类。前者检查项目

较少但属必须，后者则详尽而复杂。本节着重介绍了异步电动机的空载试验、转矩、转速试验、多种负载试验、以及高、低压电动机带电测量直流电阻和其他一些检试线路。

例 8-6　直流发电机法测取转矩特性的电气线路

图 8-6 所示即为直流发电机法测取转矩特性的电气性路。该图中被试电动机由三相调压变压器 T 供给电源，并通过联轴器直接拖动他励直流发电机 G，再由 G 供给他励直流电动机 M，而由 M 拖动异步发电机 M2（或同步发电机）发电，并将电能反馈回电网。被试电动机与负载电机的机械连接必须良好可靠，机组的振动应尽可能小，以免影响准确地读数。本试验线路可直接测取最大转矩和最小转矩。

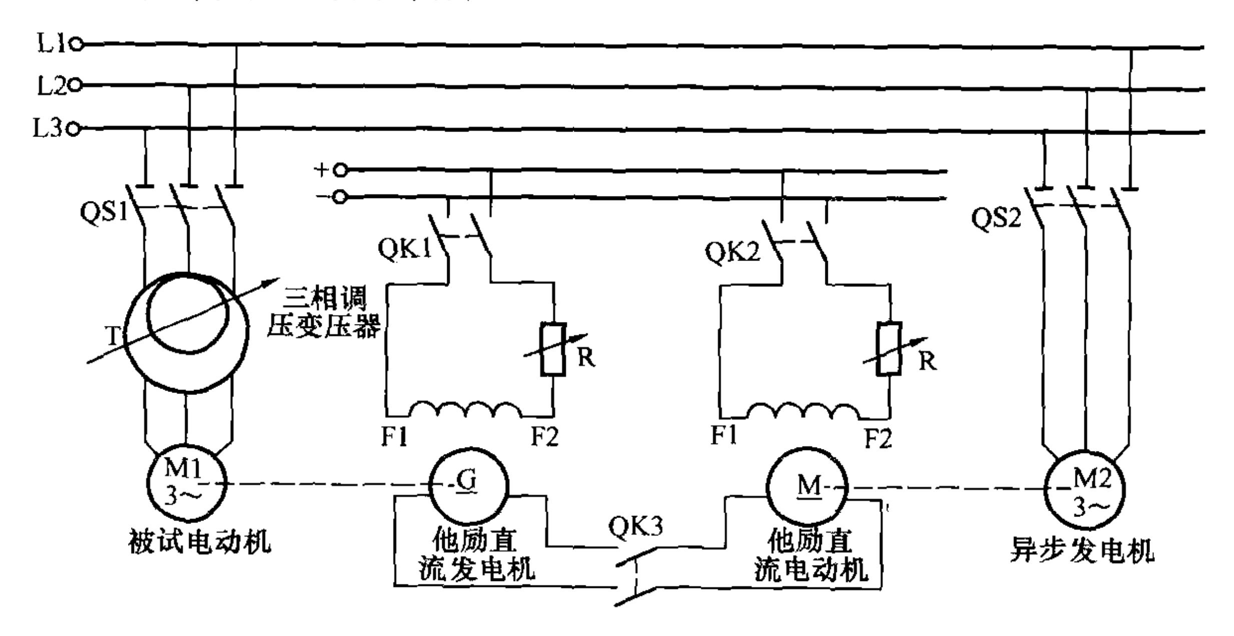


图 8-6　直流发电机法测取转矩特性的电气线路

例 8-7　转矩、转速测量仪检测电气线路

图 8-7 所示即为转矩、转速测量仪检测电气线路。该图中的直流测速发电机 TG 将被试电动机 M 起动过程中的转速，转换成与转速成正比的电压信号，再利用微分电路，将转速信号转换成与动态转矩成正比的电压信号。转速信号与转矩信号分别经过分频带推挽放大以后，进入长余辉阴极示波器的水平偏转部分和垂直偏转部分，荧光屏上就将直接显示出被试电动机的转矩—转

速特性曲线。这种测量仪的测试误差一般小于5%～20%，使用极为简便。

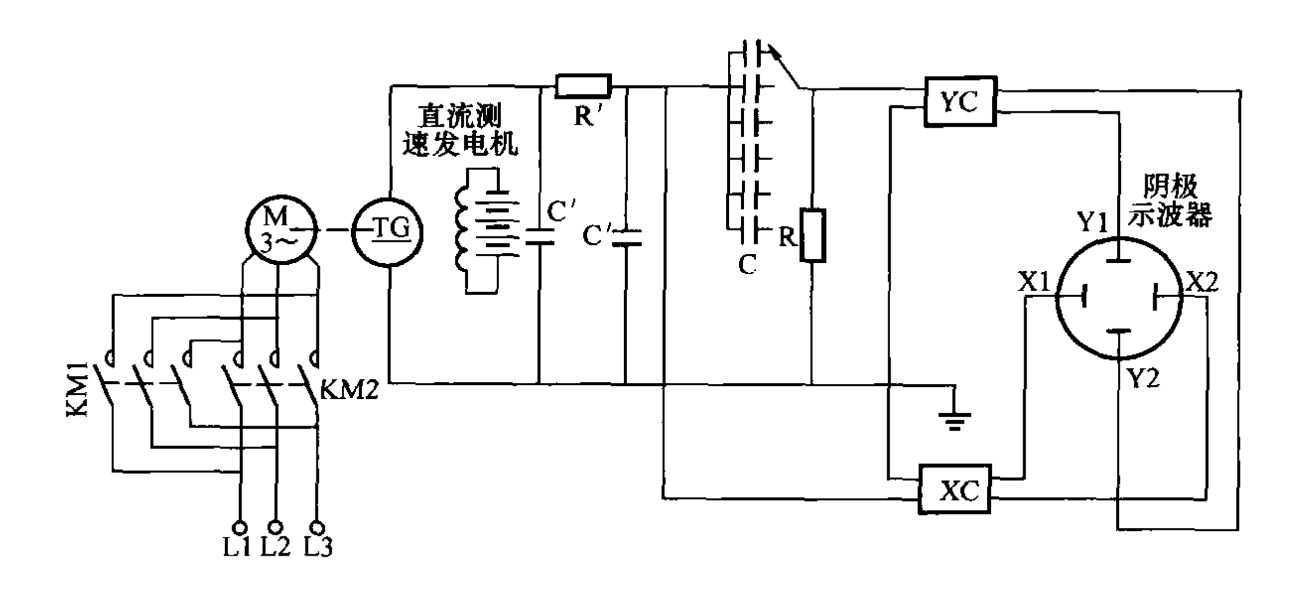


图 8-7　转矩、转速测量仪检测电气线路

例 8-8　交流发电机负载法温升试验电气线路

图 8-8 所示即为交流发电机负载法温升试验电气线路。该图中的被试电动机 M1 直接拖动一台转速相同的三相绕线转子异步电动机 M2 作为异步发电机运转。M2 的定子（或转子）通入直流励磁，而转子（或定子）发出的电能则消耗在水电阻 R2 上。

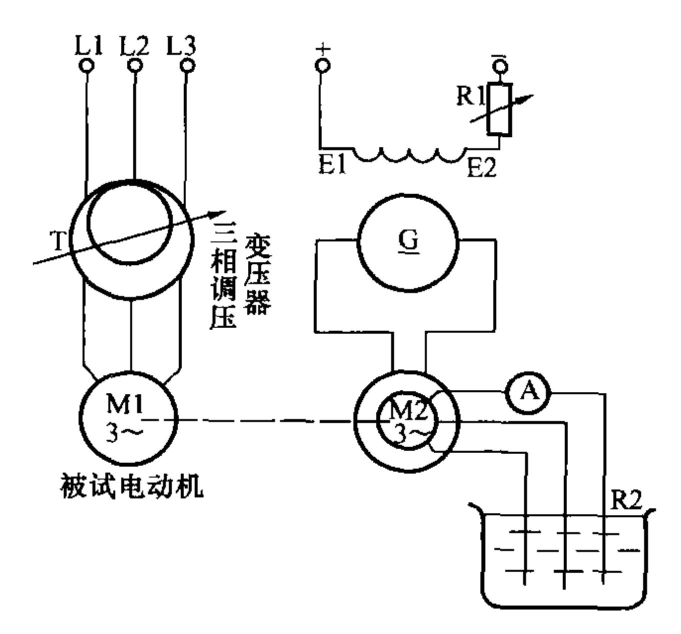


图 8-8　交流发电机负载法温升试验电气线路

例 8-9　齿轮传动回馈法温升试验电气线路

图 8-9 所示即为齿轮传动回馈法温升试验电气线路。该图中的被试电动机 M1 通过齿轮变速箱拖动陪试电动机 M2 超过同步转速运转，调节陪试用三相绕线转异步电动机转子回路的水电阻 R，就可改变被试电动机的负载。

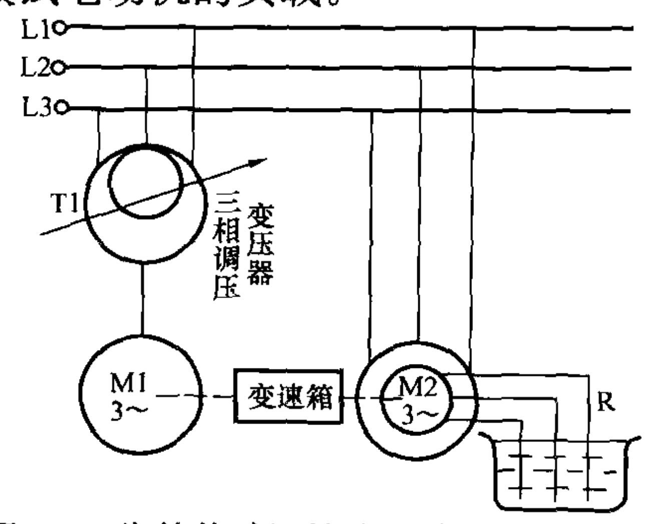


图 8-9　齿轮传动回馈法温升试验电气线路

例 8-10　变频回馈法温升试验原理接线电气线路

图 8-10 所示即为变频回馈法温升试验原理接线电气线路。图中将两台相同型号的异步电动机用联轴器联接起来，其负载电动机 M2 由变频电源供电。当变频电源频率低于被试电动机的电网频率时，这时负载电动机即成为发电机运行，改变变频电源的频率就可以对负载进行调节。此种方法读数较稳定，耗电省，但其设备较为复杂。

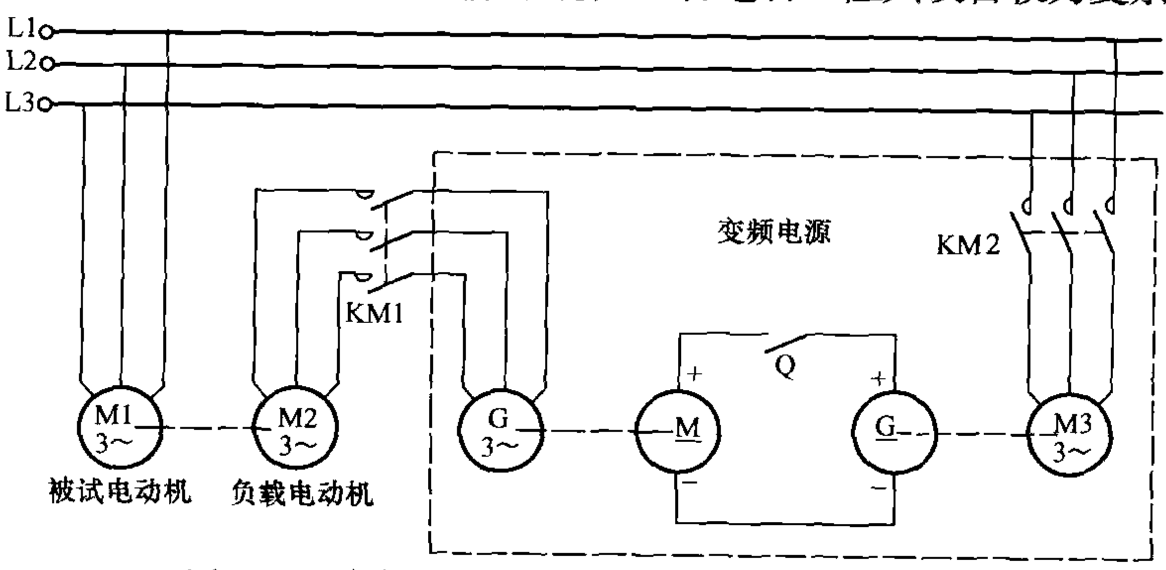


图 8-10　变频回馈法温升试验原理接线电气线路

例 8-11　低压电动机带电测量电阻(角形)电气线路

图 8-11 所示即为低压电动机带电测量电阻（角形）电气线路。当用双臂电桥法带电测电阻时，应注意以下事项：①三相电压和负载电流应平衡、稳定；②蓄电池要有足够的电流容量；③电桥对地应有良好绝缘；④电桥中所有桥臂电阻和限流线圈的电阻值应有良好的稳定性；⑤被试机组的振动要小，两台电动机的转轴中小线应对准。

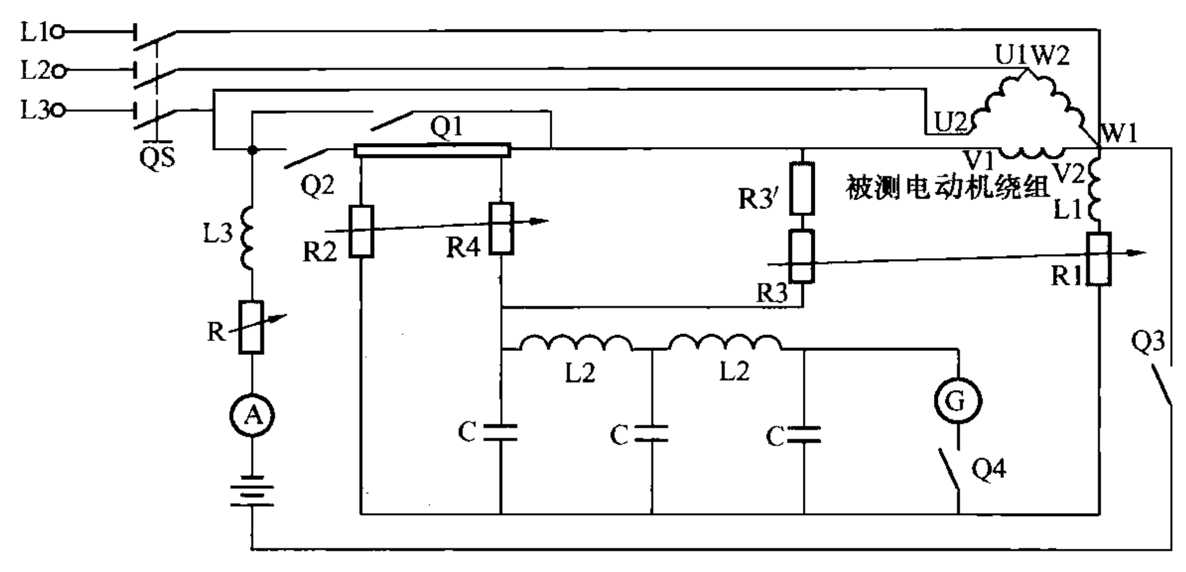


图 8-11　低压电动机带电测量电阻（角形）电气线路

例 8-12　高压电动机带电测量电阻电气线路

图 8-12 所示即为高压电动机带电测量电阻电气线路。带电

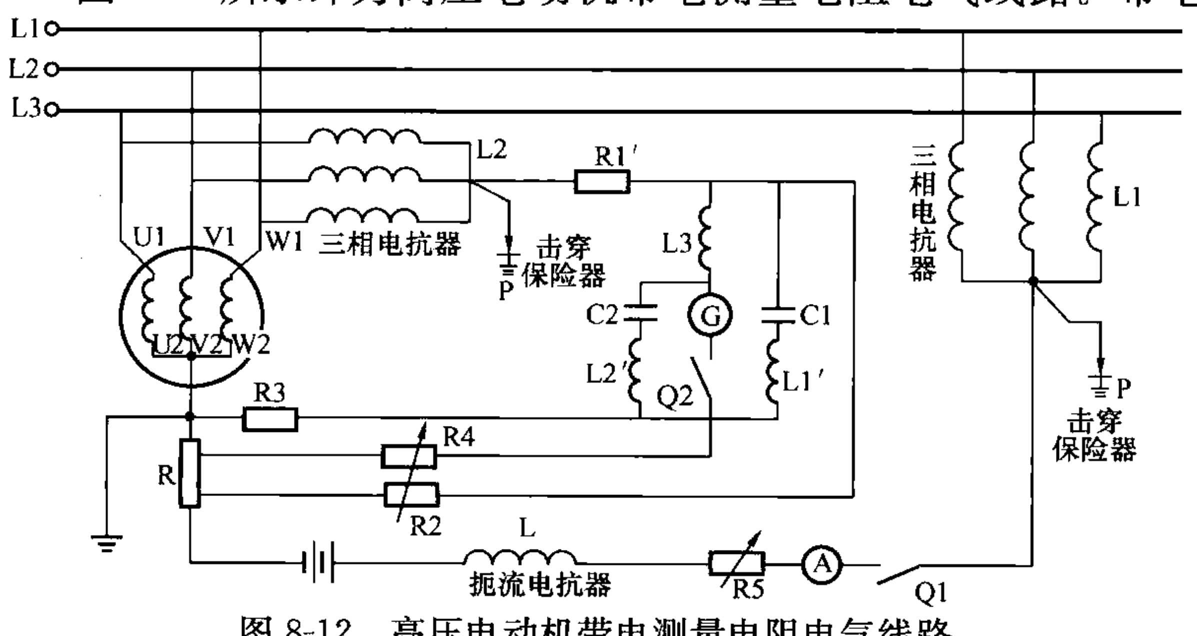


图 8-12　高压电动机带电测量电阻电气线路

测量高压电动机定子绕组电阻的双臂电桥线路，要在测量回路与交流电源之间接入两只三相电抗器 L1、L2，这样就可形成两个人为的中性点，使直流电源的两端以及 Q1、R3 桥臂回路两端交流电压几乎等于零。从而使测量回路与交流高压电源相隔离，测量时应特别注意安全。

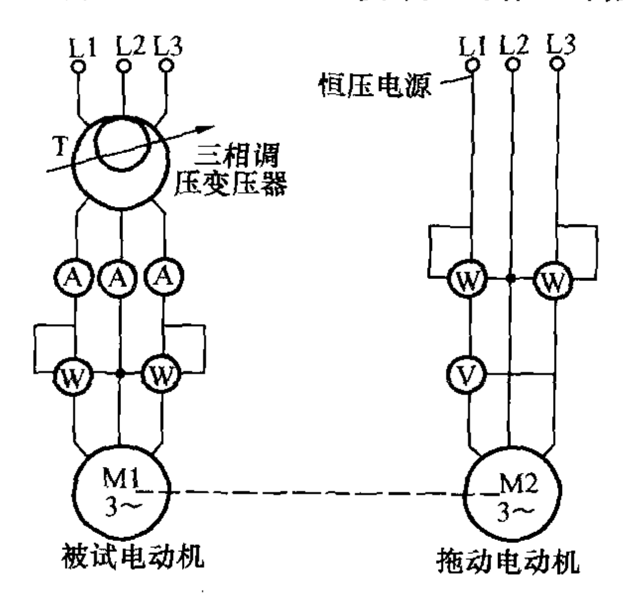


图 8-13　异步电动机反转法测定高频杂散损耗线路

例 8-13　异步电动机反转法测定高频杂散损耗线路

图 8-13 所示即为异步电动机反转法测定高频杂散损耗线路。该线路中要求被试电动机与拖动电动机的极数相同且功率相近。拖动电动机最好由恒压电源供电，否则电压波动将影响铁耗值的高低。

例 8-14　用万用表检查电动机绕组首、尾端线路

图 8-14 所示即为用万用表检查电动机绕组首、尾端线路。测试时，将三相绕组接成 Y 形，把其中任意一相接上 36V 电源，在其余两相出线端接上万用表 10V 的交流档，记下有无读数，然后改成图（b）的接法，记有无读数。若两次有读数则首、尾

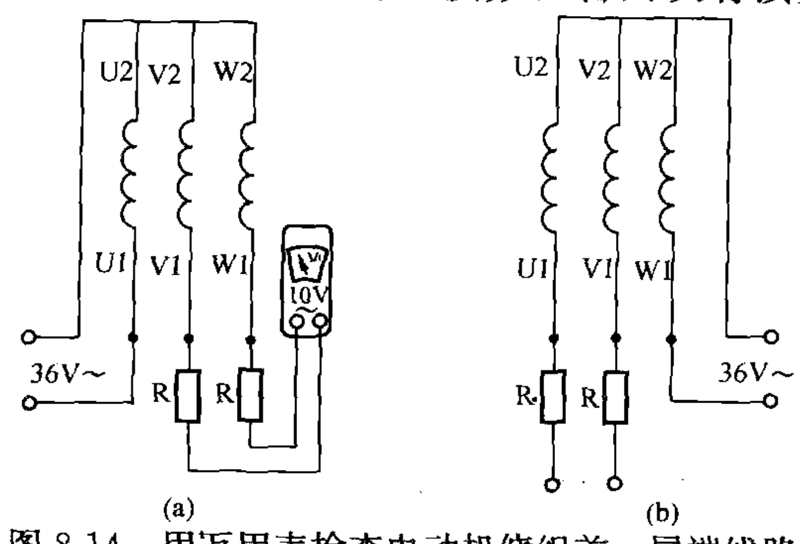


图 8-14　用万用表检查电动机绕组首、尾端线路

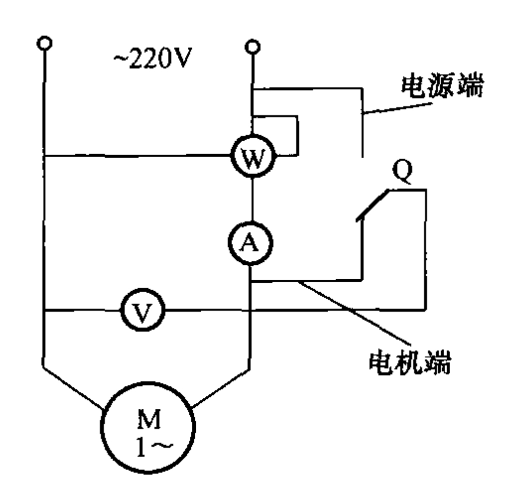


图 8-15　单相电动机试验电气线路

相序正确。

例 8-15　单相异步电动机试验电气线路

图 8-15 所示即为单相异步电动机试验电气线路。单相电动机多为小功率电动机，广泛用于家用电器和电动工具等许多方面。对不同用途及不同使用场合，要进行不同项目的测试。本线路可进行单相电动机电压、电流、功率、效率等的测量。

例 8-16　开口三角形法测量零序电抗的电气线路

图 8-16 所示即为开口三角形法测量零序电抗的电气线路。将励磁绕组短路，电枢绕组三相串联，电机拖动到额定转速，电枢绕组外接单相电源，调节电枢电流为（0.05～0.25）倍额定电流。此时即可量取电压、电流、功率，和测量各个位置的零序电抗数值。

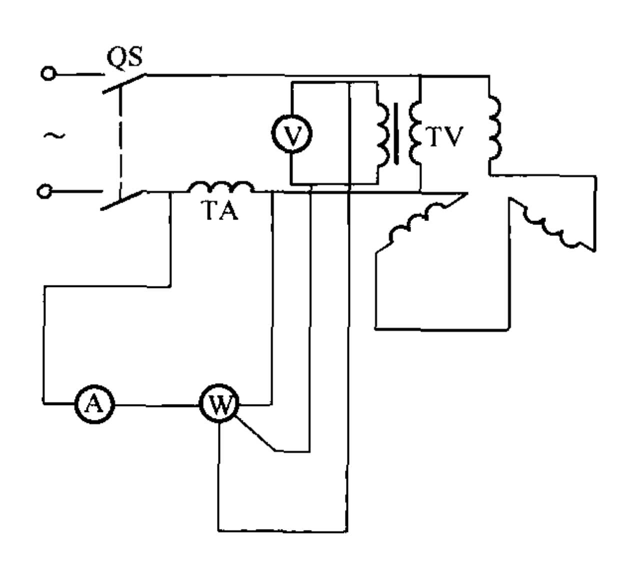


图 8-16　开口三角形法测量零序电抗的电气线路

例 8-17　逆同步旋转法测量负序电抗电气线路

图 8-17 所示即为逆同步旋转法测量负序电抗电气线路。将

励磁绕组短路，电机拖动到额定转速，由电枢绕组上外施低电压，其相序应使电枢磁场转向与转子转向相反，使电枢电流为 0.15 额定电流。此时即可量取电压、电流和功率等有关数据。

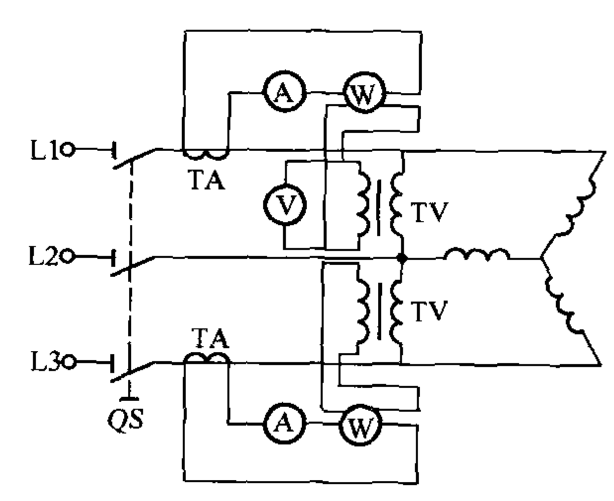


图 8-17　逆同步旋转法测量负序电抗电气线路

例 8-18　静测法测量直轴同步电抗的电气线路

图 8-18 所示即为用静测法测量直轴同步电抗的电气线路。本测量线路可在转子任意位置时测量。将单相低电压依次加到两相串联的电枢绕组出线端上，以量取电压、电流和功率等有关数据。在 3 次试验中，转子位置应始终保持不变，其他则无要求。

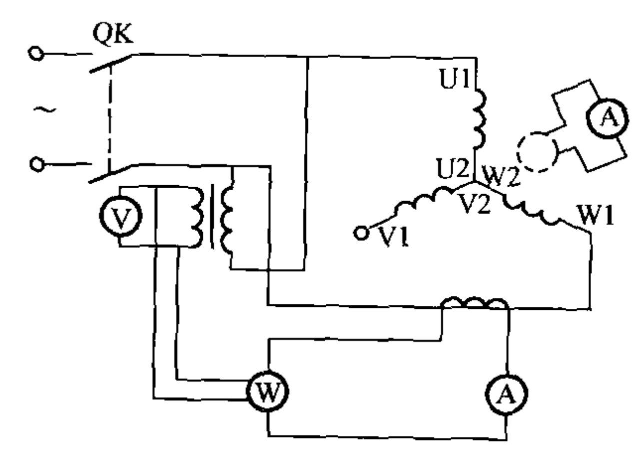


图 8-18　静测法测量直轴同步电抗的电气线路

第 3 节　直流电动机检查与试验线路

直流电动机也分为检查试验和型式试验两类。本节主要介绍

了直流电动机的极性测量、无火花换向区试验；以及直流电动机其他一些检查试验和负载试验的电气线路。

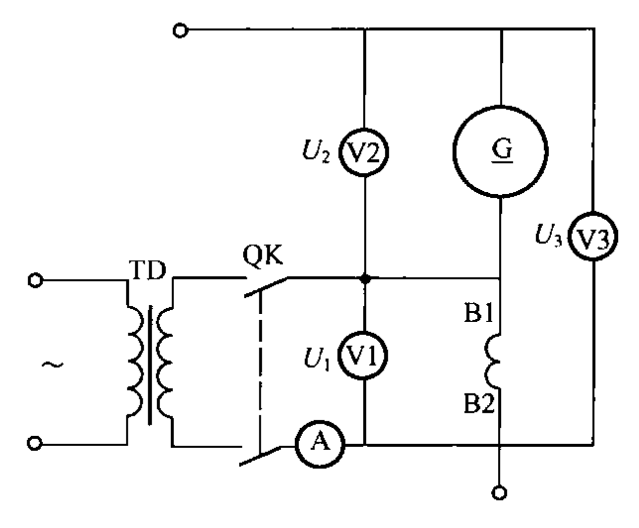


图 8-19　用交流电源测量换向极极性的电气线路

例 8-19　用交流电源测量换向极极性的电气线路

图 8-19 所示即为用交流电源测量换向极极性的电气线路。进行测试时，在换向极绕组两端施加交流电压 U_1，其值为电动机额定电压的 10%。此时如测得 $U_3=U_1-U_2$，即说明换向极极性正确；若为 $U_3=U_1+U_2$，则说明此时极性错误。

例 8-20　用直流电源测量换向极极性的电气线路

图 8-20 所示即为用直流电源测量换向极极性的电气线路。测试时，将直流电源 GB 及毫伏表 PV 的极性按图中所示联接。当开关 Q 闭合的瞬间，PV 往正方向偏转；而开关在断开的瞬间，PV 往反方向偏转，则说明换向极极性正确，否则即为错误。

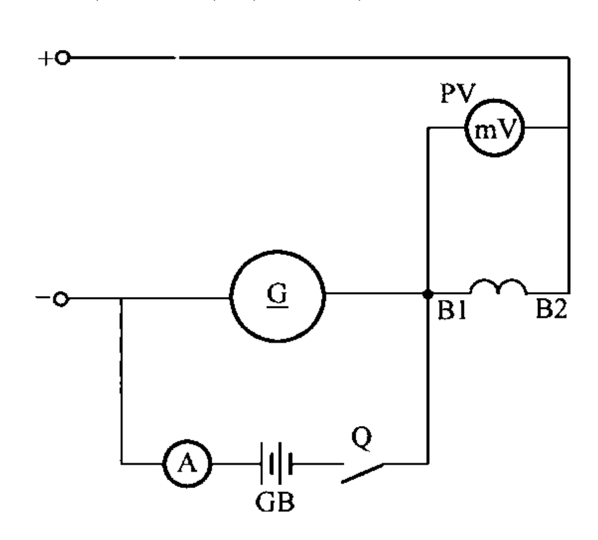


图 8-20　用直流电源测量换向极极性的电气线路

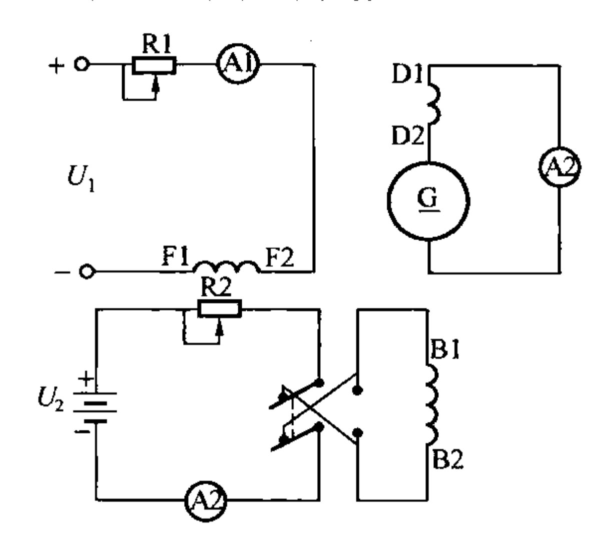


图 8-21　直流电机无火花换向区域试验电气线路

例 8-21　直流电机无火花换向区域试验电气线路

图 8-21 所示即为直流电机无火花换向区域试验电气线路。

无火花换向区域就是使直流电机从空载到额定负载，对每一负载值求出换向极绕组中电流的上下限。在这个电流的界限内能保证无火花换向，就是测定无火花运行时换向极绕组的极限电流。

例 8-22　并励直流电机反馈法负载试验电气线路

图 8-22 所示即为并励直流电机反馈法负载试验电气线路。反馈法的基本原理是将两台同型号或相类似的电机耦合在一起，其中一台作为电动机运行，去拖动另一台电机作发电机运行，其产生的电功率反馈到电动机，它们的损耗则由电源或线路电机及升压机补给。本图中的 G1 为线路发电机，它供给陪试电动机 M 的电源，G2 为被试电机，它作为发电机运行电能反馈给电动机 M。

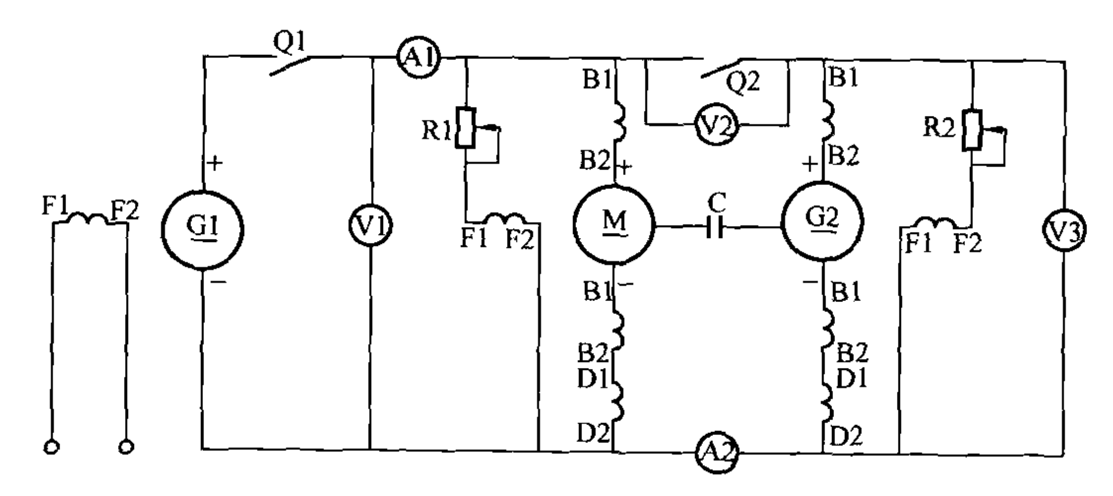


图 8-22　并励直流电机反馈法负载试验电气线路

例 8-23　串励直流电机反馈法负载试验电气线路

图 8-23 所示即为串励直流电动机反馈法负载试验电气线路。

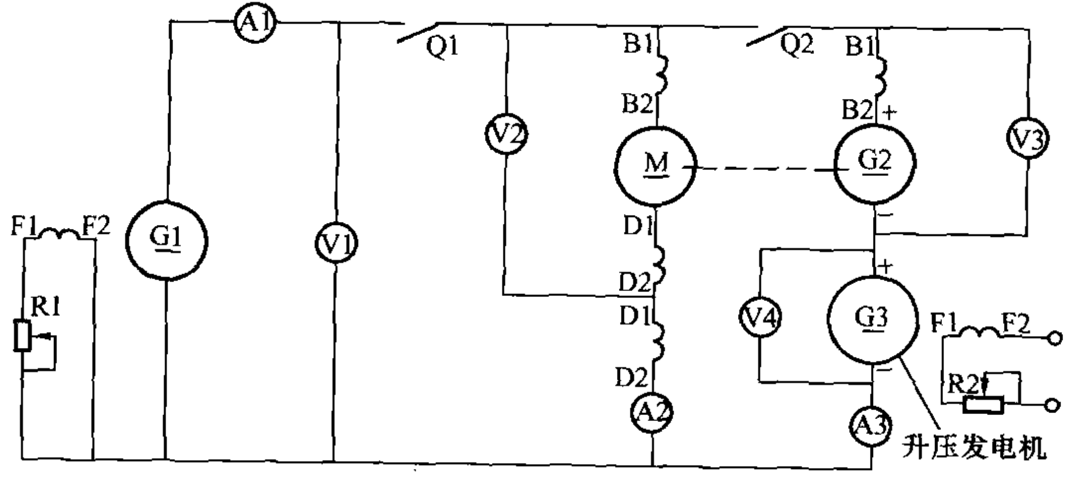


图 8-23　串励直流电机反馈法负载试验电气线路

该线路中用两台同型号电机耦合，一台作电动机 M 运行，另一台作发电机 G2 运行。它们的损耗则由线路发电机 F1 及升压发电机 G3 供给。试验时先开动升压发电机，闭合 Q2 后就有电流 I_2 流经发电机 G2 及电动机 M。调节升压发电机 G3 的电压 U，就可使电流 I_2 达到任意值。开动线路发电机 G1 并闭合开关 Q1，逐渐提高某电压 U，调整线路发电机电压 U，即可获得所需要的转速及负载电流。最后，将发电机 G2 所发电反馈给电动机 M。

附录 1 常用电气图形符号表

新符号（GB 4728）		旧符号（GB 312）	
名 称	图形符号	名 称	图形符号
电机换向绕 组		电机换向绕 组	
电机补偿绕 组		电机补偿绕 组	
电机串励绕 组		电机串励绕 组	
电机并励或他励绕组		交流电机定子绕组或直流电机并励绕组	或
直流发电机	G	直流发电机	F
直流电动机	M	直流电动机	D
交流发电机	G ~	交流发电机	F ~
交流电动机	M ~	交流电动机	D ~
直流伺服电动 机	SM	直流伺服电动 机	SD
交流伺服电动 机	SM ~	交流伺服电动 机	SD ~
直流测速发电 机	TG	直流测速发电 机	CSF

续表

新符号（GB 4728）		旧符号（GB 312）	
名　称	图形符号	名　称	图形符号
交流测速发电　机	TG ~	交流测速发电　机	CSF ~
直流力矩电动　机	TM	直流力矩电动　机	LJD
交流力矩电动　机	TM ~	交流力矩电动　机	LJD ~
步进电动机	M	步进电动机	BJD
直线电动机	M	直线电动机	ZXD
中性点引出的星形联接的三相同步发电机	GS	中线点引出的星形联接的三相凸极同步电　机	或
单相磁滞同步电动机	MS 1~		
三相磁滞同步电动机	MS 3~		
单相永磁同步电动机	MS 1~	永磁单相同步电动机	
单相笼型异步电动机	M 1~	单相鼠笼异步电动机	
三相笼型异步电动机	M 3~	三相鼠笼异步电动机	
三相绕线型异步电动机	M 3~	三相滑环异步电动机	

续表

新符号（GB 4728）		旧符号（GB 312）	
名　称	图形符号	名　称	图形符号
交流测速发电　机	TG ~		
电磁式直流测速发电机	TG		
永磁式直流测速发电机	TG		
电机扩大机		交磁扩大机	
铁　芯		铁　芯	
带间隙的铁　芯		带间隙的铁　芯	
双绕组变压　器	形式1 形式2	双绕组变压　器	单线表示 多线表示
串励直流电动机	M	串励式直流电动机	D 或 D
并励直流电动机	M	并励式直流电动机	D
他励直流电动机	M	他励式直流电动机	D
永磁直流电动机	M	永磁直流电动机	D

续表

新符号（GB 4728）		旧符号（GB 312）	
名　称	图形符号	名　称	图形符号
复励直流发电机	G	复励式直流发电机	F
单相交流串励电动机	M 1~	单相交流串励换向器电动机	
单相交流推斥电动机	~ M 1~	单相交流推斥换向器电动机	
三相交流串励电动机	M 3~	三相串励换向器电动机	
三相交流并励电动机	M 3~	三相交流并励换向器电动机由转子馈电	
三相永磁同步发电机	GS 3~	永磁三相同步电机	或
三相永磁同步电动机	MS 3~		
单相同步电动机	MS 1~	单相凸极同步电机	或
每相两端都引出的三相同步发电机	GS III	每相两端都引出的三相凸极同步电机	III

续表

新符号（GB 4728）		旧符号（GB 312）	
名　称	图形符号	名　称	图形符号
三绕组变压器	形式1 形式2	三绕组变压器	
自耦变压　器	形式1 形式2	自耦变压　器	
电流互感器、脉冲变压器	形式1 形式2	单次级绕组电流互感器	
电抗器、扼流圈	形式1 形式2	电抗器	
直流变流器方框符号			
整流器方框符号			
逆变器方框符号			
桥式全波整流器方框符号			
整流器/逆变器方框符号			
原电池或蓄电池		原电池或蓄电池	− +

续表

新符号（GB 4728）		旧符号（GB 312）	
名　称	图形符号	名　称	图形符号
蓄电池组或原电池组	形式1 形式2	蓄电池组或原电池组	
动合触点	形式1 形式2	开关的动合触点	或
		继电器动合触点	或
动断触点		开关的动断触点	或
		继电器动断触点	或
先断后合的转换触点		开关的切换触点	或
		继电器切换触点	或
中间断开的双向触点		单极转换开关	或

续表

新符号（GB 4728）		旧符号（GB 312）	
名　称	图形符号	名　称	图形符号
先合后断的转换触点	形式1 形式2	不切断转换开关的触点	
操作器件被吸合时暂时闭合的过渡动合触点		继电器吸合时短时闭合动合触点	
		接触器吸合时短时闭合动合触点	
操作器件被释放时暂时闭合的过渡动合触点		继电器释放时短时闭合动合触点	
		接触器释放时短时闭合动合触点	
操作器件被吸合或释放时暂时闭合的过渡动合触点		继电器短时闭合动合触点（双向滑动）	
		接触器短时闭合动合触点（双向滑动）	

续表

新符号（GB 4728）		旧符号（GB 312）	
名　称	图形符号	名　称	图形符号
比其他触点提前吸合的动合触点			
比其他触点滞后吸合的动合触点			
比其他触点滞后释放的动断触点			
比其他触点提前释放的动断触点			
有弹性返回的动合触点			
无弹性返回的动合触点			
有弹性返回的动断触点			

续表

新符号（GB 4728）		旧符号（GB 312）	
名　称	图形符号	名　称	图形符号
延时闭合的动合触点	形式1	继电器延时闭合的动合触　点	
	形式2	接触器延时闭合的动合触　点	
延时断开的动合触点	形式 1	继电器延时开启的动合触　点	
	形式 2	接触器延时开启的动合触　点	
延时断开的动断触点	形式 1	继电器延时开启的动断触　点	
	形式 2	接触器延时开启的动断触　点	

续表

新符号（GB 4728）		旧符号（GB 312）	
名　称	图形符号	名　称	图形符号
延时闭合和延时断开的动合触点		继电器延时闭合与开启的动合触点	
		接触器延时闭合与开启的动合触点	
手动开关一般符号			
按钮开关（动合按钮）		带动合触点的按钮	
按钮开关（动断按钮）		带动断触点的按钮	
接拨开关			
旋钮开关旋转开关（闭锁）			

续表

新符号（GB 4728）		旧符号（GB 312）	
名　称	图形符号	名　称	图形符号
液位开关		液位继电器触点	
位置开关和限制开关的动合触点		与工作机械联动的开关动合触点	或
位置开关和限制开关的动断触点		与工作机械联动的开关动断触点	或
热敏开关的动合触点	θ	温度继电器动合触点	或 $t°>$
热继电器动断触点		热继电器动断触点	
荧光灯起动器		荧光灯触发器	

续表

新符号（GB 4728）		旧符号（GB 312）	
名　称	图形符号	名　称	图形符号
惯性开关		离心式或转速式继电器触　点	或 $n>$
开关一般符号	形式1 形式2	单极开关	或
三极开关（单线表示）		三极开关单线表示	或
三极开关（多线表示）		三极开关（多线表示）	或
接触器动合触点		接触器动合触点	

续表

新符号（GB 4728）		旧符号（GB 312）	
名　称	图形符号	名　称	图形符号
接触器动断触点		接触器动断触点	
断路器		自动空气断路器	
		高压断路器	
三极断路器		三极自动空气断路器	
		三极高压断路器	
隔离开关		高压隔离开关	
三极隔离开关		三极高压隔离开关	
负荷开关		高压负荷开关	
三级负荷开关		三级高压负荷开关	

续表

新符号（GB 4728）		旧符号（GB 312）	
名　称	图形符号	名　称	图形符号
电动机起动器一般符号			
星-三角起动器			
自耦变压器式起动器			
操作器件一般符号		继电器、接触器和磁力起动器的线圈	
缓放继电器线圈		电磁继电器缓放线圈	
缓吸继电器线圈		电磁继电器缓吸线圈	
热继电器的驱动部件		热继电器的发热元件	
过流继电器线圈	$I>$	过电流继电器线圈	$I>$
欠压继电器线圈	$U<$	低电压继电器线圈	$U<$
熔断器一般符号		熔断器	
跌开式熔断器		跌开式熔断器	
熔断器式隔离开关		隔离开关-熔断器	

附录2　常用文字符号表

附表 2-1　　　　电气设备常用基本文字符号表

名　　称	新符号		旧符号
	单字母	双字母	
发电机	G		F
直流发电机	G	GD	ZF
交流发电机	G	GA	JF
同步发电机	G	GS	TF
异步发电机	G	GA	.YF
永磁发电机	G	GM	YCF
水轮发电机	G	GH	SLF
汽轮发电机	G	GT	QLF
励磁机	G	GE	L
电动机	M		D
直流电动机	M	MD	ZD
交流电动机	M	MA	JD
同步电动机	M	MS	TD
异步电动机	M	MA	YD
笼型电动机	M	MC	LD
绕组	W		Q
电枢绕组	W	WA	SQ
定子绕组	W	WS	DQ
转子绕组	W	WR	ZQ
励磁绕组	W	WE	LQ
控制绕组	W	WC	KQ
变压器	T		B
电力变压器	T	TM	LB
控制变压器	T	TC	KB
升压变压器	T	TU	SB

续表

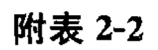
名　　称	新符号		旧符号
	单字母	双字母	
降压变压器	T	TD	JB
自耦变压器	T	TA	OB
整流变压器	T	TR	ZB
电炉变压器	T	TF	LB
稳压器	T	TS	WY
互感器	T		H
电流互感器	T	TA	LH
电压互感器	T	TV	YH
整流器	U		ZL
变流器	U		BL
逆变器	U		NB
变频器	U		BP
断路器	Q	QF	DL
隔离开关	Q	QS	GK
自动开关	Q	QA	ZK
转换开关	Q	QC	HK
刀开关	Q	QK	DK
控制开关	S	SA	KK
行程开关	S	ST	CK
限位开关	S	SL	XK
终点开关	S	SE	ZDK
微动开关	S	SS	WK
脚踏开关	S	SF	TK
按钮开关	S	SB	AN
接近开关	S	SP	JK
继电器	K		J
电压继电器	K	KV	YJ
电流继电器	K	KA	LJ
时间继电器	K	KT	SJ

续表

名　　称	新符号		旧符号
	单字母	双字母	
频率继电器	K	KF	PJ
压力继电器	K	KP	YLJ
控制继电器	K	KC	KJ
信号继电器	K	KS	XJ
接地继电器	K	KE	JDJ
接触器	K	KM	C
电磁铁	Y	YA	DT
制动电磁铁	Y	YB	ZDT
牵引电磁铁	Y	YT	QYT
起重电磁铁	Y	YL	QZT
电磁离合器	Y	YC	CLH
电阻器	R		R
变阻器	R		R
电位器	R	RP	W
起动电阻器	R	RS	QR
制动电阻器	R	RB	ZDR
频敏电阻器	R	RF	PR
附加电阻器	R	RA	FR
电容器	C		C
电感器	L		L
电抗器	L		DK
起动电抗器	L	LS	QK
感应线圈	L		GQ
电线	W		DX
电缆	W		DL
母线	W		M
避雷器	F		BL
熔断器	F	FU	RD
照明灯	E	EL	ZD

续表

名　　称	新符号		旧符号
	单字母	双字母	
指示灯	H	HL	SD
蓄电池	G	GB	XDC
光电池	B		GDC
晶体管	V		BG
电子管	V	VE	G
调节器	A		T
放大器	A		FD
晶体管放大器	A	AD	BF
电子管放大器	A	AV	GF
磁放大器	A	AM	CF
变换器	B		BH
压力变换器	B	BP	YB
位置变换器	B	BQ	WZB
温度变换器	B	BT	WDB
速度变换器	B	BV	SDB
自整角机	B		ZZJ
测速发电机	B	BR	CSF
送话器	B		S
受话器	B		SH
拾声器	B		SS
扬声器	B		Y
耳机	B		EJ
天线	W		TX
接线柱	X		JX
连接片	X	XB	LP
插头	X	XP	CT
插座	X	XS	CZ
测量仪表	P		CB



附表 2-2　　项目种类的字母代码表

字母代码	项目种类	举　例
A	组件 部件	分立元件放大器、磁放大器、印制电路板等
B	变换器 （从非电量到电量或相反）	送话器、拾音器、扬声器、耳机、磁头等
C	电容器	可变电容器、微调电容器、极性电容器等
D	二进制逻辑单元、延迟器件、存储器件	数字集成电路和器件、延迟线、双稳态元件、单稳态元件、寄存器
E	杂项、其他元件	光器件、热器件
F	保护器件	熔断器、避雷器等
G	电源、发电机、信号源	电池、电源设备、振荡器、石英晶体振荡器
H	信号器件	光指示器、声指示器
K	继电器 接触器	
L	电感器 电抗器	感应线圈、线路陷波器、电抗器等
M	电动机	
N	模拟集成电路	运算放大器、模拟/数字混合器件
P	测量设备 试验设备	指示、记录、积算、信号发生器、时钟
Q	电力电路的开关	断路器、隔离开关
R	电阻器	可变电阻器、电位器、变阻器、分流器、热敏电阻等
S	控制电路的开关 选择器	控制开关、按钮、限制开关、选择开关、选择器等
T	变压器	电压、电流互感器
U	调制器 变换器	鉴频器、解调器、变频器、编码器等
V	电真空器件 半导体器件	电子管、晶体管、二极管、显像管等
W	传输通道 波导、天线	导线、电缆、波导、偶极天线、拉杆天线等

续表

字母代码	项 目 种 类	举 例
X	端子 插头 插座	插头和插座、测试塞孔、端子板、焊接端子片、连接片
Y	电气操作的机械装置	制动器、离合器、气阀等
Z	滤波器、均衡器、限幅器	晶体滤波器、陶瓷滤波器、网络等

附表 2-3　　常用辅助文字符号表

名 称	新符号	旧符号		名 称	新符号	旧符号	
		单组合	多组合			单组合	多组合
高	H	G	G	交流	AC	JL	J
低	L	D	D	电压	V	Y	Y
升	U	S	S	电流	A	L	L
降	D	J	J	时间	T	S	S
主	M	Z	Z	闭合	ON	BH	B
辅	AUX	F	F	断开	OFF	DK	D
中	M	Z	Z	附加	ADD	F	F
正	FW	Z	Z	异步	ASY	Y	Y
反	R	F	F	同步	SYN	T	T
红	RD	H	H	自动	A，AUT	Z	Z
绿	GN	L	L	手动	M，MAN	S	S
黄	YE	U	U	起动	ST	Q	Q
白	WH	B	B	停止	STP	T	T
蓝	BL	A	A	控制	C	K	K
直流	DC	ZL	Z	信号	S	X	X